ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE :97

LES FIBRES ALIMENTAIRES :
LEUR ROLE DANS LA MOTRICITÉ GASTRO-INTESTINALE

THESE

pour le Doctorat Vétérinaire
(Diplôme d'Etat)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse

par

Thierry, Georges, Louis BARDON
Né, le 21 Juillet 1956 à SAINT-MAIXENT L'ECOLE (Deux-Sèvres)

MEMBRES DU JURY

Président : Monsieur BESSOU
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Assesseurs : Monsieur RUCKEBUSCH
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Monsieur LAUTIE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

UNIV.
LIBRARY
SOIL

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543908_0008

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE.:97

LES FIBRES ALIMENTAIRES :
LEUR ROLE DANS LA MOTRICITÉ GASTRO-INTESTINALE

THESE

pour le Doctorat Vétérinaire
(Diplôme d'Etat)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse

par

Thierry, Georges, Louis BARDON
Né, le 21 Juillet 1956 à SAINT-MAIXENT L'ECOLE (Deux-Sèvres)

MEMBRES DU JURY

Président : Monsieur BESSOU
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Assesseurs : Monsieur RUCKEBUSCH
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Monsieur LAUTIE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Directeur : ..... M. LAUTIE
Directeur honoraire : ..... M. FLORIO
Professeurs honoraires : ..... MM. BRIZARD
..... SAURAT
..... GODFRAIN

PERSONNEL ENSEIGNANT

CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire : ..... Mme BURGAT-SACAZE
Maître-Assistant : ..... M. PETIT

Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MÉDICALES

Professeur titulaire : ..... MM. RICO
Professeur sans chaire : ..... BRAUN
Maître-Assistant : ..... BENARD

Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire : ..... MM. PAVAUX
Maître-Assistant : ..... LIGNEREUX
Maître-Assistant : ..... SAUTET

Organogénèse - Tératologie
Anatomie Générale - Anatomie appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THÉRAPEUTIQUE

Professeur titulaire : ..... MM. RUCKEBUSCH
Professeur sans chaire : ..... FARGEAS
Maître-Assistant Agrégé : ..... TOUTAIN

Physiologie - Pharmacodynamie - Thérapeutique

CHAIRE D'HISTOIRE - ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire : ..... MM. VAN HAVERBEKE
Professeur sans chaire : ..... CABANIE
Maître-Assistant : ..... MAGNOL

Histologie - Embryologie
Anatomie Pathologique - Clinique

CHAIRE D'HYGIÈNE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire : ..... MM. LABIE
Maître de Conférence : ..... EECKHOUTTE
Maître Assistant Agrégé : ..... Mme BENARD

Hygiène, Inspection, Contrôle et Technologie des denrées alimentaires
d'origine animale - Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire : ..... MM. DORCHIES
Maître de Conférences : ..... FRANC
Maître Assistant : ..... DUCOS DE LAHITTE

Zoologie appliquée - Écologie - Parasitologie externe -
Dermatologie Parasitologie interne - Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MÉDICALE DES ÉQUIDÉS ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire : ..... MM. LESCURE
Maître de Conférences : ..... GUELFI
Maître Assistant : ..... REGNIER

Sémiologie et Pathologie Médicale des Équidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MÉDICALE DU BÉTAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire : ..... MM. TOURNUT
Maître de Conférences : ..... BEZILLE
Maître Assistant : ..... JOUGLAR

Sémiologie et Pathologie Médicale du Bétail
et des animaux de basse-cour
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire : ..... MM. CAZIEUX
Maître de Conférences : ..... GENEVOIS
Maître Assistant : ..... AUTEFAGE
Maître Assistant : ..... FAYOLLE

Propédeutique et Sémiologie chirurgicale - Radiologie -
Technique chirurgicale - Anesthésiologie - Pathologie Chirurgicale -
Traumatologie - Podologie orthopédique - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire : ..... MM. FERNEY
Professeur sans chaire : ..... ROYAL

Pathologie de l'appareil génital et de la mamelle -
Sémiologie et propédeutique - Pathologie de la Reproduction -
Obstétrique et pathologie du nouveau-né Clinique -
Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES - ZOONOSES - LÉGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire : ..... MM. CHANTAL
Maître Assistant : ..... PICAVET

Épidémiologie - Maladies Contagieuses
Zoonoses - Législation sanitaire - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE - MICROBIOLOGIE - IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire : ..... MM. LAUTIE
Maître Assistant : ..... PELLERIN
Maître Assistant : ..... MILON

Microbiologie - Immunologie -
Pathologie Générale

CHAIRE D'ÉLEVAGE ET ÉCONOMIE

Professeur titulaire : ..... MM. QUEINNEC
Professeur sans chaire : ..... DARRE
Maître Assistant : ..... Mme QUEINNEC

Ethnologie - Génétique animale - Extérieur - Zootechnie et économie générales -
Ethologie appliquée, Sciences, Techniques, Économie de l'Élevage et des Productions animales -
Insémination artificielle - Organisation de l'Élevage

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire : ..... MM. FALIU
Professeur sans chaire : ..... GRIESS
Maître Assistant : ..... ENJALBERT

Botanique appliquée et bromatologie
Agronomie - Alimentation

CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

MM. les Professeurs ANGELIER, ARMENGAUD, COMBES, COMBRET, CROS, FERNET et MAZENC.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (délibération de la Faculté en date du 10 mai 1981 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 juin 1924.)

LES FIBRES ALIMENTAIRES :

LEUR RÔLE DANS LA MOTRICITE GASTRO-INTESTINALE

A la mémoire de Christophe DROUOT.

A mes Parents.

En témoignage de ma profonde affection, et pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard.

A Stéphanie.

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur BESSOU
de l'Université Paul Sabatier de Toulouse
qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommage respectueux.

A NOTRE JURY DE THESE

Monsieur le Professeur RUCKEBUSCH
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
qu'il trouve ici, le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect pour la bienveillance et l'attention avec lesquelles il nous a accueilli dans son service.

Monsieur le Professeur LAUTIE
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
qui a bien voulu accepter de juger notre travail. Qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde considération.

A Monsieur le Docteur FIORAMONTI

qui nous a donné l'idée de ce travail, et qui nous a témoigné beaucoup de patience et de disponibilité dans son élaboration.
Qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde gratitude.

Notre reconnaissance va également au personnel du Laboratoire de Physiologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, dont l'aide nous a été particulièrement précieuse.

I - LES FIBRES ALIMENTAIRES : UN ENSEMBLE COMPLEXE DIFFICILE A DEFINIR, D'INTERET CONTROVERSE.

1) NOTIONS DE DIETARY FIBRE (FIBRES ALIMENTAIRES) : *Une polémique encore vive.*

2) LE DOSAGE DES FIBRES : *Une analyse chimique, ou une tentative d'approche physiologique par digestion enzymatique.*

A) Analyse chimique :

a - Cellulose Brute
b - Les détergents de VAN SOEST
c - Méthode de fractionnement de la paroi cellulaire végétale

B) Les méthodes enzymatiques : elles sont plus physiologiques :

a - in vitro
   α) Total Unavailable Carbohydrate
   β) Dietary Fiber
b - in vivo

C) Les cas particuliers :

a - Dosage de la Lignine
b - La Chromatographie
c - La Réflectance Infra-Rouge

3) UNE STRUCTURE HETEROGENE :

A) Les composants majeurs

a - La Cellulose
b - La Lignine
c - Les Hémicelluloses

B) Les autres polysaccharides

a - Les Pectines
b - Les Polysaccharides mineurs

C) Les composants mineurs

4) INTERET DE L'ETUDE DES FIBRES : *Elles sont impliquées dans des mécanismes très variés.*

A) Maladies digestives

a - Chez l'Homme
b - Chez l'Animal
c - Fibres et Cancer

B) Fibres et Diabète

C) Fibres et Lipides

D) Fibres et Toxicité

E) Fibres et Minéraux

F) Fibres et Médicaments

II - EFFETS DES FIBRES SUR LA MOTRICITE GASTRO-INTESTINALE.

1) EFFET SUR LE TRANSIT :

A) Chez l'Homme

B) Chez l'Animal

a - Omnivores
b - Carnivores
c - Herbivores

2) EFFET SUR LES PROFILS MOTEURS :

A) Intestin grêle

B) Gros intestin

3) MODIFICATIONS DE LA PRESSION INTRALUMINALE COLIQUE.

4) EFFETS TROPHIQUES SUR LE TRACTUS DIGESTIF.

III - LE MODE D'ACTION DES FIBRES SUR LA MOTRICITE DIGESTIVE : HYPOTHESE PHYSIQUE OU FERMENTAIRE.

1) HYPOTHESE PHYSIQUE :

A) Action Mécanique.

B) Pouvoir de rétention d'eau.

2) HYPOTHESE FERMENTAIRE : *le véritable rôle des acides gras volatils.*

A) La théorie d'HELLENDOORN.

B) Etude expérimentale.

a - Acides gras volatils et transit
b - Acides gras volatils et profils moteurs

C O N C L U S I O N S.

INTRODUCTION

Les fibres alimentaires ont toujours été et sont encore l'essentiel de l'alimentation et de l'apport énergétique chez les herbivores. En revanche, elles ont été longtemps considérées comme des substrats inertes, voire indésirables, chez les Monogastriques non herbivores : leur flore digestive et leur équipement enzymatique sont en effet mal adaptés à la dégradation des végétaux fibreux.

Parmi les processus pathologiques modernes rencontrés chez l'Homme, le cancer et les maladies cardio-vasculaires sont les plus répandus : c'est leur étude qui a montré l'importance des effets physiques et pharmacologiques des fibres dont la présence est indispensable dans l'alimentation.

De façon schématique, les fibres alimentaires sont les résidus des cellules végétales non dégradés par les enzymes endogènes du tractus digestif. Le nombre et la variété des disciplines scientifiques concernées par l'étude de leur nature et de leurs effets, expliquent les imprécisions de vocabulaire et les divergences d'opinion qui rendent difficile toute tentative d'un langage commun.

Cependant, les effets majeurs des fibres alimentaires sont admis par tous ; aussi, après avoir précisé les problèmes encore très actuels de leur définition et de leur intérêt, nous nous attacherons à l'étude des conséquences de l'adjonction de différents types de fibres sur la motricité digestive, particulièrement chez le Porc, pour terminer avec une tentative d'explication de leur mode d'action.

Le Porc est un modèle expérimental intéressant : son tractus digestif s'adapte de façon spectaculaire à un défaut ou à un excès de fibre dans la ration ; c'est pourquoi nous l'avons choisi.

I - LES FIBRES ALIMENTAIRES : UN ENSEMBLE COMPLEXE, DIFFICILE A DEFINIR, D'INTERET CONTROVERSE.

Selon que le mot fibre est employé par un botaniste, un chimiste, un nutritioniste ou un physiologiste, il regroupe des notions aussi variées qu'un ensemble de microfibrilles, la cellulose, les glucides non disponibles ou le résidu indigestible par les enzymes du tractus. TROWELL (1978) a montré la confusion qui provenait de l'emploi abusif du terme "fibre" ainsi que la difficulté de définir simplement cet ensemble très vaste, et pourtant déjà connu et vanté par HIPPOCRATE pour ses vertus laxatives.

1) NOTIONS DE DIETARY FIBRE (FIBRES ALIMENTAIRES) : *Une polémique encore vive.*

BURKITT (1971), à la suite d'études épidémiologiques comparées entre les populations Africaines et Européennes, associe le manque de fibres dans l'alimentation et l'origine de certains cancers digestifs : il introduit le terme "Dietary Fibre" (D.F.), traduit par fibres alimentaires, sans toutefois le cerner avec précision.

TROWELL (1972), définit D.F. comme étant "le résidu des cellules végétales résistant à l'hydrolyse par les enzymes du tractus digestif de l'Homme" ; il apporte une nouvelle dimension à ce terme (TROWELL et al., 1976) en y incluant expressement les substances hydrosolubles de la paroi cellulaire (Tableau 1).

C'est CUMMINGS (1978) qui étend le plus loin la liste des éléments constituant le concept D.F., puisqu'il y adjoint des éléments associés naturellement aux fibres tels que : acide phytique, silice, substances cuticulaires, tanins et saponines. Il propose plus tard, la définition suivante : "ensemble de polysaccharides non amylacés (non Starch Polysaccharides) regroupant la cellulose d'une part, les polysaccharides non cellulosiques d'autre part, auxquels s'ajoute la Lignine (CUMMINGS, 1981).

Regrettant la confusion engendrée par le grand nombre de synonymes (Tableau 2) utilisés, SPILLER et al., (1978), en proposent un nouveau : le plantix, du Latin planta et matrix, qui définit l'ensemble des polysaccharides végétaux non digestibles par l'Homme. SPILLER est actuellement le seul à préconiser ce terme.

Tableau 1 : LES COMPOSANTS DU "DIETARY FIBRE" (d'après SOUTHGATE, 1978a).

Sources	Catégorie Chimique	Dénomination usuelle
Eléments structuraux de la paroi des cellules végétales	. Polysaccharide de structure	. Cellulose . Hémicellulose . Une partie des pectines
	. Constituants non polysaccharidiques	. Lignine + Silice
Eléments non structuraux	. Polysaccharides variés	. Pectines . Gommes . Mucilages . Polysaccharides des algues

HELLENDOORN (1981), attachant beaucoup d'importance aux correspondances entre le terme définissant le concept de fibre, son utilisation par l'organisme et la méthode utilisée pour le dosage réfute D.F. et propose Résidu Indigestible (Indigestible Residue).

La multiplicité des définitions provient de ce que les fibres forment un ensemble de substances très différentes quant à leur composition, leurs propriétés physicochimiques, et leurs effets biologiques La définition de TROWELL semble la plus intéressante, car elle fait intervenir des considérations physiologiques ; mais elle est limitée au tractus de l'homme ; la définition proposée en introduction, moins précise s'applique aussi aux animaux.

Tableau 2 : LES DIFFERENTES APPELLATIONS DES FIBRES.

Cellulose Brute	Crude Fiber	C.B.
Fibres alimentaires	Dietary Fiber	D.F.
Fibres végétales	Plant Fiber	P.F.
Fibres	Fiber (U.S.A.)	
Fibres	Fibre (England)	
Fibres végétales naturelles	Non purified Plant Fiber	N.P.P.F.
	Purified Plant Fiber	P.P.F.
	Non nutritive natural Fiber	
	Non nutritive Synthetic Fiber	
Glucides membranaires	Cell Wall Carbohydrates	
Glucides indigestibles	Indigestible Carbohydrates	I.C.
Glucides indisponibles	Unavailable Carbohydrates	U.C.
	Partially digestible plant polymers	P.D.P.P.
	Partially digestible biopolymers	P.D.B.
Plantix	Plantix	P.X.
Lest	Bulking agent	

ASP et al., (1979), ont montré combien étaient grandes les différences obtenues dans l'appréciation des taux de fibres ingérées par l'homme en fonction des techniques utilisées.

En fait, c'est la méthode de dosage qui définit la fibre.

2) LE DOSAGE DES FIBRES : *Une analyse chimique, ou une tentative d'approche physiologique par digestion enzymatique.*

Il n'existe pas encore de méthodes simples, applicables à un dosage précis.

Les premiers travaux réalisés à la station agronomique de WEENDE, ont abouti à la méthode d'HENNEBERG et STOHMANN en 1860, qui permet l'obtention de la Cellulose Brute ; plus tard, la notion de fibre s'est confondue avec l'ensemble des constituants des parois cellulaires, même s'ils n'ont pas une structure fibreuse.

Actuellement, si l'emploi du seul vocable "Dietary Fiber" s'est généralisé, les méthodes pour l'estimer sont légion.

A) Analyse chimique :

Les deux techniques les plus répandues, sont l'analyse de la Cellulose Brute et la méthode des détergents.

a - Cellulose Brute (C.B.)

La Cellulose Brute ou cellulose de WEENDE, correspond à l'insoluble non minéral qui subsiste après le traitement par une double hydrolyse (Tableau 3).

Tableau 3 : SCHEMA DE DOSAGE DE LA CELLULOSE BRUTE.

Hydrolyse acide (H_2SO_4 1,25 %, 100°C, 30 mn.
puis Hydrolyse basique (NaOH 1,25 %, 100°C, 30 mn.

Résidu* variable en fonction
de l'âge et de l'espèce de la plante :

=

Cellulose Brute	-50-90% de la cellulose vraie -10% des hémicelluloses -10% de la Lignine
Extractif non Azoté (par différence)	-Pectines -Hémicelluloses -Glucides globulaires de réserve -Acides organiques -Lignine

* *La teneur en protéines du résidu est presque toujours négligeable (1 à 2 %).*

b - Les détergents de VAN SOEST

Le Neutral Detergent Fiber (N.D.F.) dissout les sucres solubles, les polysaccharides de réserve, les substances pectiques, l'Acid Detergent Fiber (A.D.F.) solubilise en plus les hémicelluloses, séparant ainsi la Lignocellulose (Tableau 4).

Tableau 4 : PRINCIPE DE LA METHODE DES DETERGENTS (d'après VAN SOEST, 1967).

	REACTIFS	TRAITEMENTS	CONSTITUANTS OBTENUS
N.D.F.	Lauryl Sulfate de Na + Ethylène Diamine Tétracetic Acid	Ebullition 1 heure à pH 7	Totalité des glucides membranaires sauf les pectines
A.D.F.	Bromure de Cétyl-trimethyl Ammonium 2% dans H_2SO_4(N)	Ebullition 1 heure	Lignocellulose et éléments minéraux
Lignine	H_2SO_4 72%	3 heures à 20°C	Lignine Brute (Klason Lignin)
Cellulose Vraie	A.D.F. - Lignine	Par calcul	
Hémicelluloses	A.D.F. - N.D.F.	Par calcul	
Silice	H Br (48%)	1 heure à 25°C	Fraction minérale
Fraction digestible	100 - N.D.F.		Lipides - Sucres Acides organiques Amidon Protéines solubles Acides Nucléiques Pectines

Les résidus contiennent encore des protéines, qu'on retrouve aussi dans la lignine brute. De même, il reste des hémicelluloses dans l'A.D.F.. Le taux de lignification intervient dans ces phénomènes.

On note que les pectines sont alors considérées comme digestibles.

FOY et al., (1981), présentent le résultat de l'analyse par cette méthode d'une trentaine de végétaux couramment consommés par l'Homme.

c - Méthode de fractionnement de la paroi cellulaire végétale (d'après SOUTHGATE, 1978a).

Cette technique permet une analyse plus précise de chacun des constituants (Fig. 1) ; en particulier, elle aboutit à une séparation de 3 hémicelluloses.

B - Les méthodes enzymatiques : elles sont plus physiologiques.

a - in vitro

α) Total Unavailable Carbohydrate (T.U.C.) de Mc CANCE et al., (1936).

C'est une méthode historique. Attachés surtout à la détermination de l'amidon, ils établissent le schéma exposé au Tableau 5.

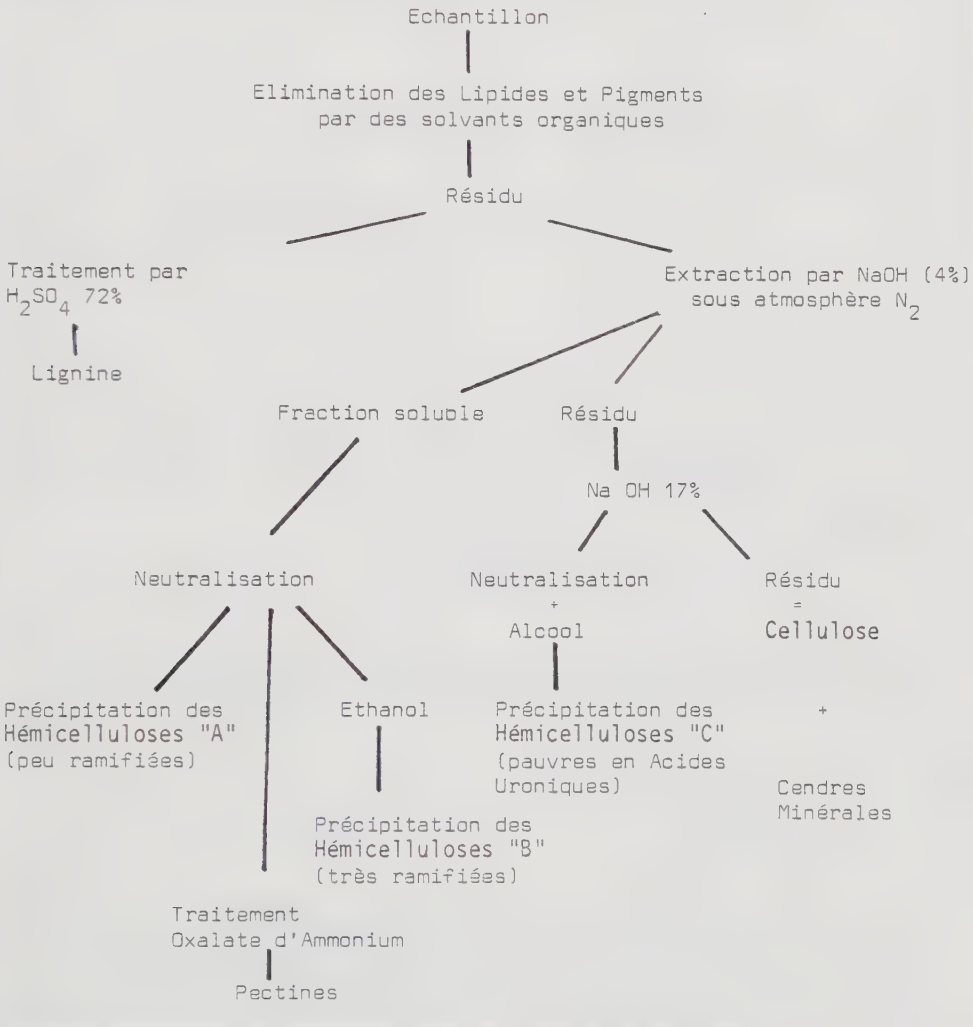
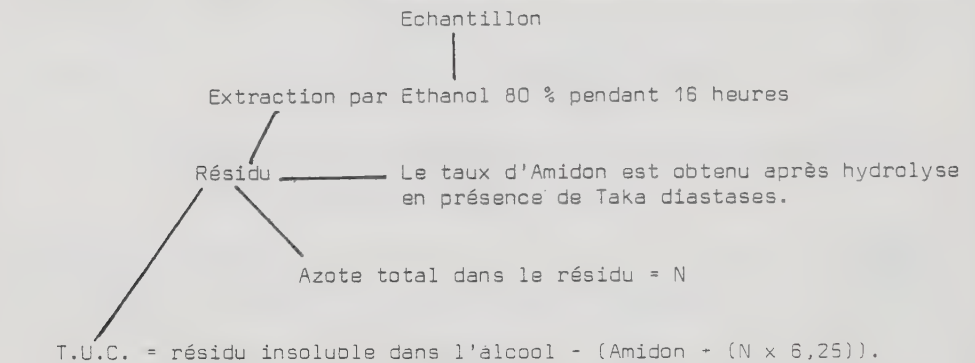


Fig. 1 : SCHEMA DE BASE DU FRACTIONNEMENT DE LA PAROI CELLULAIRE VEGETALE (d'après SOUTHGATE, 1978a).

Tableau 5 : TOTAL UNAVAILABLE CARBOHYDRATES (d'après Mc CANCE et al., 1936).



WILLIAMS et al., en 1940, obtenaient un "Résidu Indigestible" après traitement par du suc pancréatique.

β) Dietary Fiber de SOUTHGATE.

Nous choisissons le schéma de SOUTHGATE (Fig. 2) comme exemple. Il en existe d'autres comme celui d'HELLENDOORN et al., (1975).

Ces méthodes in vitro peuvent être encore approfondies.

b - in vivo

SANDBERG et al., (1981) ont utilisé un modèle expérimental : chez l'homme volontaire, iléostomisé ; un régime supplémenté en son a été testé vis à vis d'un régime pauvre en fibres. Les dosages sont effectués sur des échantillons qui ont subi une digestion enzymatique dans le tractus proximal. Le D.F. représente l'augmentation des polysaccharides et de la

lignine entre les deux régimes ; il a été ainsi établi que la valeur en Fibre du son de blé est de 310 g/kg MS.

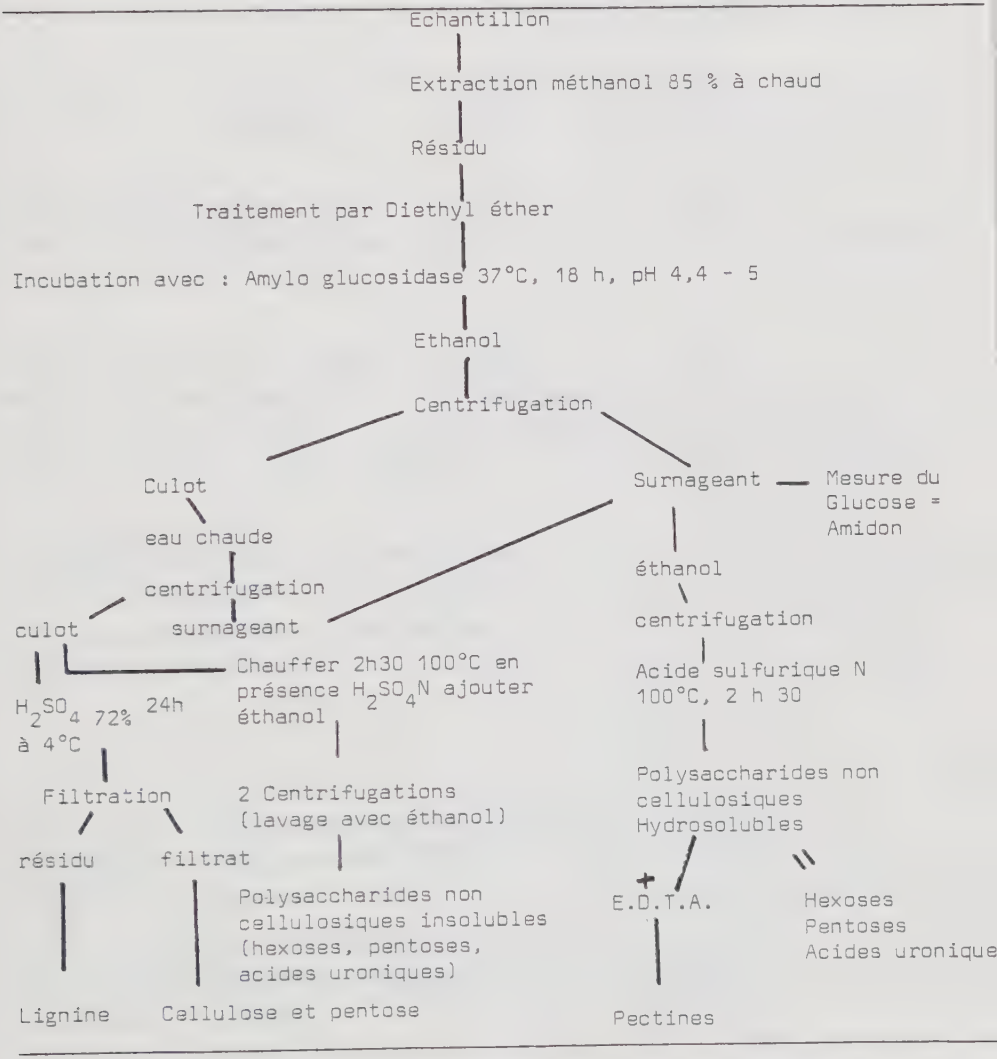


Fig. 2 : PRINCIPE DE LA DETERMINATION DU D.F. (d'après SOUTHGATE, 1973b).

C - Les cas particuliers.

a - Dosage de la Lignine.

La composition chimique de la lignine étant très complexe, il n'existe pas de méthodes très strictes pour son dosage.

On définit habituellement la lignine de KLASON comme étant le résidu d'un traitement par l'acide sulfurique concentré. Il existe plusieurs techniques.

L'Acid Detergent Lignine est obtenu par calcul dans la méthode des détergents. Elle donne des résultats souvent inférieurs à la précédente. Il existe une méthode d'évaluation de la lignine par Résonnance Magnétique Nucléaire, utilisant le Carbone 13 (LUDEMANN et NIMZ, 1973).

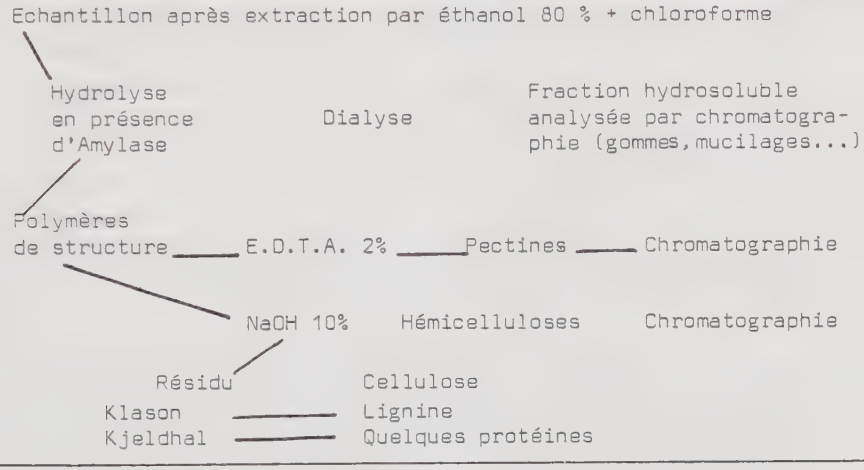
Le taux de lignification dans une plante étant en grande partie responsable de la disponibilité des autres constituants, il en régit le comportement tant dans les dosages que dans l'organisme in vivo. Il est donc important d'améliorer les techniques d'estimation de la lignine.

b - La chromatographie.

Les polysaccharides non cellulosiques peuvent être étudiées sur colonne échangeuse d'ions, et par combinaison de spectrophotométrie de masse et chromatographie.

THEANDER et AMAN (1979), intègrent la chromatographie à leur schéma de dosage des fibres (Tableau 6).

Tableau 6 : DOSAGE DES FIBRES (d'après THEANDER et AMAN, 1979).



D'une façon plus générale, tous les polymères composant les fibres et obtenus à l'état pur peuvent après hydrolyse, faire l'objet d'une analyse chromatographique permettant une estimation qualitative et quantitative de chaque type de monomères.

c - La Réflectance Infra-Rouge (R.I.R.) (BAKER et al., 1979).

Il existe des corrélations précises entre les valeurs NDF et les mesures de Réflectance Infra-Rouge des échantillons analysés, mises en évidence par NORRIS en 1976. La technique RIR a l'avantage d' être rapide, de ne pas demander de préparation spéciale et d'être automatisable. De plus il existe dans le commerce un appareil utilisable facilement, qui permet de tester rapidement un grand nombre d'échantillons, puisque la mesure dure moins de cinq minutes.

En pratique, les méthodes enzymologiques, les plus séduisantes, souffrent aussi de quelques insuffisances : par exemple, les amylases ont une certaine activité hémicellulolytique ; les composants hydrosolubles ne sont pas toujours pris en compte ; de plus, elles font encore intervenir des méthodes chimiques, dans les schémas généraux d'analyse. Ce sont certainement malgré cela, les techniques de précision d'avenir, avec peut-être quelques moyens d'analyse physique très fine.

Cependant, elles sont encore largement dominées par les classiques méthodes d'analyse chimique CB, ADF, NDF.

Ce qui rend paradoxale l'attitude qui consiste à exprimer par des caractères physicochimiques un ensemble qui se définit selon des critères physiologiques. On retrouve là, l'origine des querelles qui envahissent la littérature à ce sujet (HELLENDOORN - 1981).

Toutefois, actuellement, un certain nombre de recommandations sont admises par l'ensemble des auteurs (THEANDER et JAMES - 1979).

1) CB devrait être abandonnée pour son manque de fiabilité et de précision.
2) DF doit représenter d'une part, les hydrates de carbone non dégradés par les enzymes de l'homme, et d'autre part, le résidu non glucidique intégrant la lignine.
3) Le terme "glucides indisponibles" doit se rapporter aux enzymes humains (α_{1-4} et α_{1-6} glucosidases) alors que les "glucides indigestibles" englobent les glucides résistants à la fois aux enzymes et aux bactéries.
4) Il est préférable de réaliser une extraction des graisses avant toute mesure.

5) Il faut tenir compte des acides uroniques qu'on ne sait pas encore bien doser, qui sont présents dans les gommes, pectines, hémicelluloses, et qui sont contenus dans la fraction hydrosoluble.

On ne peut dissocier les critères physico-chimiques et physiologiques du complexe DF. Aussi est-il utile de considéder la solubilité, la densité, le pouvoir de rétention d'eau les capacités d'échanges d'ions, la taille des particules et leur fermentescibilité, caractères pouvant intervenir dans le mécanisme d'action intime des fibres.

En particulier, la connaissance de la structure des composants peut faciliter en plus d'une analyse spécifique de chacun d'eux, leur obtention à l'état pur, permettant ainsi d'étudier leur rôle individuellement.

3) UNE STRUCTURE HETEROGENE

A) Les composants majeurs :

La cellulose, la lignine, les hémicelluloses, représentent les trois polymères naturels les plus répandus dans le monde vivant.

a - La Cellulose.

C'est un homopolymère linéaire du D glucose lié en β_{1-4} (Fig. 3) ; les chaînes ont un degré de polymérisation variable (1000 en général, jusqu'à 15000) et sont organisés en zone cristalline (Fig. 4).

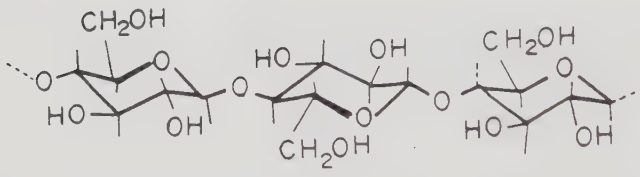


Fig. 3 : LA CELLULOSE (d'après RINAUDO, 1980). Elle est constituée par :
- son degré de polymérisation.
- son taux de cristallisation.

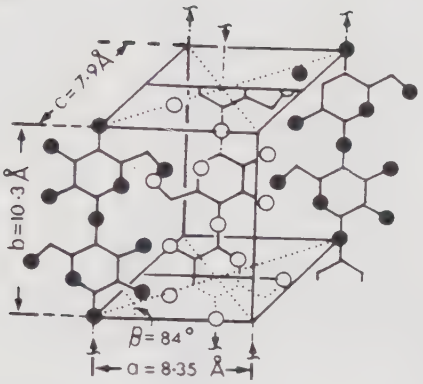


Fig. 4 : L'ORGANISATION CRISTALLINE DE LA CELLULOSE (d'après MEYER et MISCH, 1927).

La disposition β_{1-4} entraîne l'existence de ponts Hydrogène intra et inter moléculaires, conférant à l'ensemble d'une part une insolubilité remarquable (soluble seulement dans la liqueur de SCHWEITZER), d'autre part une structure fibrillaire puis fibreuse, enfin une résistance particulière aux α_{1-4} glucosidases (Fig. 4).

b - La Lignine.

Ce n'est pas un polysaccharide. Elle se dépose au fur et à mesure de la maturation de la plante, par condensation de précurseurs légers, dans les espaces microcapillaires de la membrane polysaccharidique, conduisant à des polymères de très haut poids moléculaire.

En fait, il existe de très nombreuses lignines dont la formule générale est dérivée du n-(hydroxyphényl-propane) (Fig. 5).

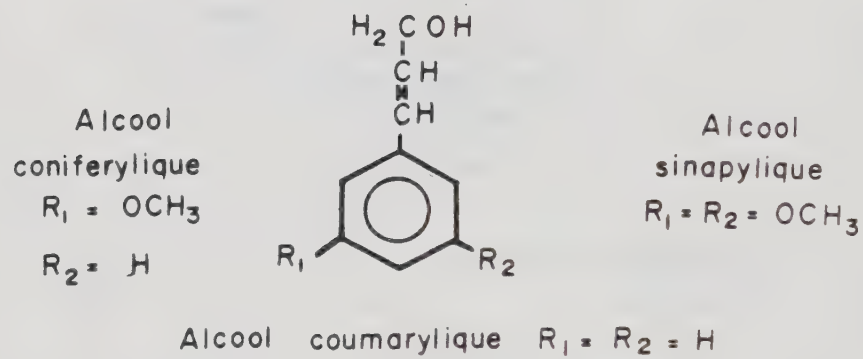


Fig. 5 : LES PRECURSEURS DE LA LIGNINE (d'après GORDON, 1979).

Dans la lignine du sapin (Fig. 6), les alcools conifĕrylique, coumarylique, sinapylique, entrent pour les proportions respectives : 80 %, 14 %, 6 %. Le réseau tridimensionnel formé par la lignine, entraînant des interpénétrations avec les polysaccharides structuraux, est à l'origine des variations de digestibilité et des difficultés de dosage.

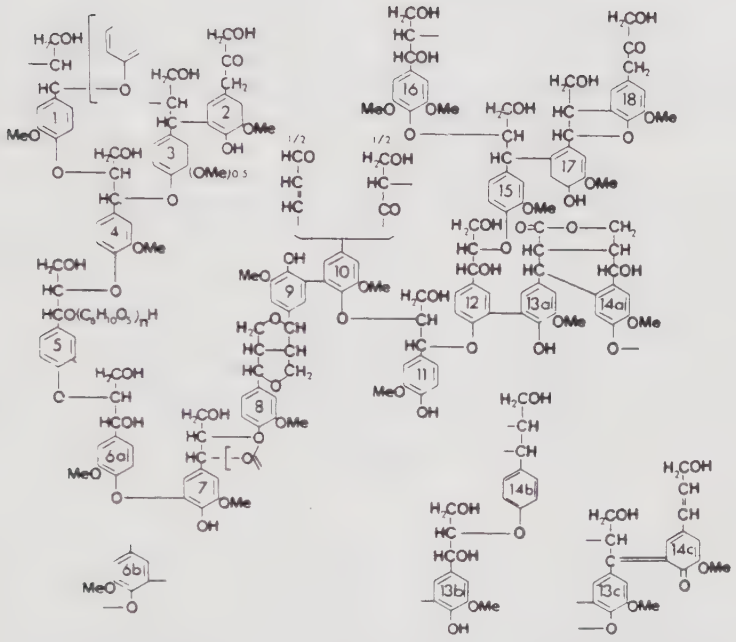


Fig. 6 : LA LIGNINE DU SAPIN (d'après FREUDENBERG, 1964).

D'autres types de composés polyhydroxyphénoliques, tels les tanins ou les flavones, se retrouvent chez de nombreux végétaux.

c - Les Hémicelluloses.

Ce sont des polysaccharides linéaires, polydispersés en masse moléculaire et en structure chimique dans un même végétal, où ils entourent la cellulose.

D'analyse délicate, solubles dans l'eau ou les solutions alcalines, elles peuvent libérer à l'hydrolyse un mélange d'Hexoses, de Pentoses et d'Acides Uroniques. Ce sont soit des homopolysaccharides, soit des hétéropolysaccharides. Les monomères intégrés dans la chaîne peuvent être plus ou moins acétylés, méthylés, carboxylés. Souvent, les polymères d'un pentose sont appelés Pentosane (Fig. 7).

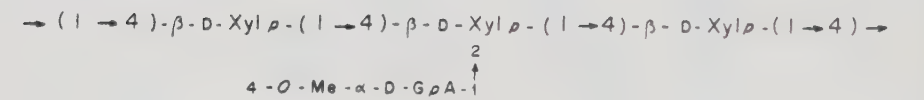


Fig. 7 : EXEMPLE D'HEMICELLULOSE : LE XYLANE (POLYMERE DU XYLOSE) (d'après RINAUDO, 1980).

- Les monomères sont associés par des liaisons β_{1-4}.
- Le degré de polymérisation (50 - 400) et la structure des monomères caractérisent les hémicelluloses.

B) Les autres polysaccharides.

a - Les Pectines.

Ce sont des polysaccharides colloïdaux complexes, composés de

chaînes d'acide D galacturonique (liaisons α_{1-4}), associés à des sucres neutres (Rhamnose, Arabinose, Galactose, Xylose) et à taux de méthylation variable (Fig. 8).

On les trouve dans toutes les plantes, plus particulièrement dans les agrumes.

De la richesse en oses latéraux, dépend le pouvoir gélifiant des pectines :

- en milieu acide si le taux de méthylation est > 50 %.
- en présence de Ca^{2+} si les chaînes sont plus riches en groupe carboxyliques (RINAUDO - 1980).

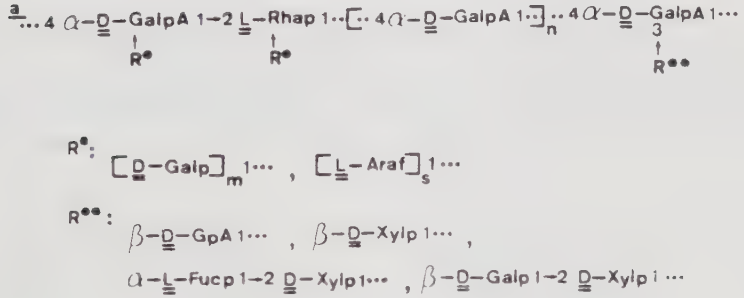


Fig. 8 : FORMULE GENERALE D'UNE PECTINE (d'après RINAUDO, 1980).

b - Les Polysaccharides mineurs.

Les gommes et les mucilages sont des polymères complexes des

acides galacturonique et glucuronique très ramifiés (SOUTHGATE - 1978a). Les alginates contiennent de l'acide D-mannuronique et L-guluronique. Les carragénannes sont des copolymères d'anhydro D-galactose et de D-galactose.

C - Les composants mineurs.

Ils sont très divers, et d'étude très difficile. On rencontre dans cette catégorie, certains complexes protéiniques, qui interfèrent souvent avec les autres composants, particulièrement avec la Lignine. Les constituants inorganiques, tels que la silice, et les cutines, les subérines, les cires seront seulement mentionnés.

Si les moyens d'investigation concernant l'estimation des fibres alimentaires sont de plus en plus développés, c'est que l'utilisation qu'on en fait aussi bien chez l'homme que chez l'animal, se justifie par un intérêt croissant.

4) INTERET DE L'ETUDE DES FIBRES : *Elles sont impliquées dans des mécanismes très variés.*

Chez l'homme, les études portant sur les interactions fibres-métabolisme-pathologie, sont très nombreuses.

Chez l'animal, le manque d'éléments fibreux dans les rations, est souvent à l'origine d'une pathologie associée aux hauts rendements.

C'est essentiellement en pathologie digestive, que les fibres alimentaires ont supporté le plus d'espoir. De plus, les propriétés hypoglycémiante et hypocholestérolémiante du son, des pectines, de la lignine, ont ouvert des perspectives d'avenir.

A) Maladies digestives.

a - Chez l'Homme

TROWELL (1978), accentuant ainsi le caractère épidémiologique et presque sociologique de ces études, intitule "Western Risk Diseases" la liste des phénomènes pathologiques associés au déséquilibre en fibres :

Constipation	Hémorroïdes
Colopathie spasmodique	Hernie hiatale
Diverticulose hémorragique	Lithiase biliaire
Maladie de Cröhn	Maladies coronariennes
Cancers coliques	Varices des membres inférieurs

BURKITT (1976), attribue aux hyperpressions régnant dans la sphère digestive sevrée de fibres, l'origine de la plupart de ces processus.

b - Chez l'Animal

En médecine vétérinaire, les effets bénéfiques dus à l'apport de fibres dans les rations, de plus en plus raffinées, sont moins bien étudiées. Cependant, un certain nombre de règles d'élevage concernant un tel apport sont préconisées.

α) Omnivores :

Chez la truie en fin de gestation, les normes en vigueur conduisent à la distribution de son pour éviter la constipation.

La présence d'une litière dans les loges des élevages de porcs à l'engrais suffit à préserver ces animaux des ulcères gastro-oesophagiens.

HENRY et BOURDON (1969), induisent des ulcères chez des porcs en leur distribuant un régime semi-synthétique à granulométrie fine et à faible taux de cellulose ; il suffit de supprimer la litière des loges pour obtenir un début de kératinisation du cardia (TOURNUT et LABIE, 1970).

La présence de la litière modifie aussi le comportement puisqu'elle supprime le pica.

Les fibres semblent agir par l'intermédiaire d'un effet mécanique, puisqu'on peut noter d'une part l'inexistance d'ulcères dans les exploitations utilisant des broyeurs qui entraînent une mouture grossière (BISSON, 1967), et d'autre part, la possibilité d'induire des ulcères par la distribution d'aliments dont la granulation est inférieure à 1,5 mm (TOURNUT et al., 1969).

β) Carnivores :

Chez les carnivores domestiques, FENNELL (1976), attribue aux fibres des pouvoirs quasi-miraculeux : une soixantaine de cas de désordres essentiellement digestifs ont été traités avec succès par de la gomme de sterculia administrée aux doses suivantes :

Chien de petite taille : $\frac{1}{2}$ cuillerée à café par jour
Chien moyen : 1 cuillerée à café rase par jour
Chien de grande taille : 1 cuillerée à café pleine par jour
Chattons : 0,5 g/jour } *Sous forme de gélules*
Chats adultes : 0,5 g Matin et Soir }

Les résultats obtenus chez le chien sont présentés dans le Tableau 7. L'auteur ne se dispense pas, quand il le juge nécessaire, des traitements classiques (antibiotiques, anti-inflammatoires, adjuvants...) qu'il associe aux gommes.

Cependant, les fibres peuvent être aussi la source de troubles digestifs : le chien, sensible à un excès de son ajouté à sa ration, peut développer à cette occasion, un syndrome occlusif (PONCIN, 1981).

Il semble que chez le chien et le chat, l'intérêt des fibres réside dans la lutte contre l'obésité (prédisposant aux maladies cardio-vasculaires, hépatiques, et aux troubles de l'appareil locomoteur) et dans la lutte contre la constipation (diminuant ainsi les fermentations microbiennes intempestives dans le gros intestin, à l'origine d'affections cutanées nombreuses, rebelles et délabrantes).

Tableau 7 : RESULTATS DU TRAITEMENT PAR LA GOMME DE STERCULIA DE QUELQUES CAS CLINIQUES CHEZ LE CHIEN (d'après FENNEL, 1976).

Processus morbides	Réussite	Echec	Nombre de cas
Troubles intestinaux			
Atonie	2		2
Colite	2	1	3
Constipation	2		2
Coprostase	1		1
Diarrhée chronique	1		1
Diarrhée toxique	4		4
Entérite non spécifique	16		16
Entérite bactérienne	2		2
Diverticulose rectale	1		1
Hyperplasie prostatique	2		2
Inflammation des glandes anales	4		4

γ) Herbivores :

Le lapin :

Il présente des troubles digestifs si sa ration ne comprend pas suffisamment d'éléments fibreux.

HODGSON (1972b), soumet des Lapins Néozélandais Blancs, à un régime composé de pain blanc, lait, beurre et sucre, pendant quatre mois. Les rongeurs présentent rapidement une constipation et s'ils ne perdent pas de poids, leur état général est altéré.

A l'autopsie, ils révèlent une diverticulose colique comparable à celle rencontrée chez l'homme.

On remarque toutefois, ici le caractère aberrant du régime à tel point qu'on peut hésiter à attribuer au seul manque de fibres, l'origine de ces désordres.

D'autres études tendent à montrer la nécessité des fibres dans l'alimentation du lapin.

ROSSILET (1977), note une altération de la muqueuse intestinale et la présence de poches de gaz gastrique et caecale chez des lapins soumis à un régime sans lest. Il attribue, en accord avec COLIN et al. (1976), un rôle protecteur de ces organes à la cellulose.

Un déséquilibre alimentaire entraînant un déficit de cellulose et un excès d'azote, est à l'origine d'une rupture de la symbiose bactérienne dans le côlon ; ce phénomène entraîne des désordres généraux se traduisant par des diarrhées.

Des études épidémiologiques ont permis d'établir une corrélation positive entre l'élévation du taux de diarrhée et l'abaissement du taux de fibres (BARAJOU et al., 1977 ; VOGROS, 1976).

COLIN et al. (1976), ont montré que tous les lapins recevant

un régime sans lest, présentent des troubles digestifs caractérisés cliniquement par des états diarrhéiques variés ; l'examen post-mortem met en évidence la présence de mucus dans le grêle et l'existence de lésions microscopiques de l'épithélium intestinal ; là encore, l'adjonction de fibres se traduit comme chez le porc, par une modification comportementale, puisqu'elle diminue la trichophagie. L'absence de germes pathogènes dans le tube digestif de ces animaux, tend à confirmer l'origine métabolique de ces troubles.

Un dysfonctionnement hépatorénal, dû en partie au déséquilibre protéines/cellulose, serait à l'origine des diarrhées des laperaux en début d'engraissement (RENAULT et al., 1976).

L'entérite mucoïde du lapin entraîne une accumulation de mucus dans le côlon, à la suite d'une constipation intense (SINROVICS, 1976) ; la diarrhée qui survient ensuite serait la conséquence d'une phase d'hypomotricité à l'origine de laquelle se trouve le déficit en fibres de la ration.

Le cheval :

Des troubles surviennent chez le cheval quand un excès d'éléments très fermentescibles sont présents dans le gros intestin : l'absorption des acides organiques augmente et contribue à l'apparition d'un syndrome "Acidose-Deshydratation" (ARGENZIO, 1975).

Un taux minimum d'éléments ligneux dans la ration semble donc utile.

De plus, le régime, s'il est constitué d'aliment concentré en l'absence de tout fourrage ou de litière, entraîne le cheval à consommer

tout ce qui présente une texture fibreuse : bois de la porte du box, branche d'arbre, crins des congénères (WOLTER, 1978b).

Volailles :

Un taux de fibres minimum est nécessaire dans l'alimentation des oiseaux, notamment pour éviter l'obésité chez les poules pondeuses de souche lourde, prédisposées au syndrome du foie et du rein gras, et le pica chez les poulets de chair (WOLTER, 1978b).

Ruminants :

L'attaque bactérienne des fibres a lieu dès les premiers réservoirs du tube digestif ; dès lors, la réaction du segment caeco-colique, déjà envisagée chez les monogastriques, se fait vis à vis d'éléments déjà bien dégradés, puisque la digestion cellulolytique dans le gros intestin ne représente que 1/10 environ de la dégradation totale de la cellulose chez les Ruminants (BEEVER et al., 1972).

Les fibres assurent l'encombrement des grands réservoirs. Un excès relatif d'éléments indigestibles entraîne une certaine inappétence une baisse de l'apport énergétique par diminution de la digestibilité de l'ensemble de la ration, et par là, des risques de cetose ; un défaut de fibres expose l'animal à des risques tout aussi graves, par l'inhibition de la motricité, du transit, à l'origine d'indigestion, météorisation, entérotoxémies, surcharges hépatiques, acidoses, et chute du taux butyreux chez les vaches laitières (WOLTER, 1978a).

Enfin, chez les ruminants, la qualité des végétaux distribués est mise en cause : les enquêtes écopathologiques de l'I.N.R.A., ont permis d'associer le ramollissement des fèces et la "pathologie non spécifique du

train postérieur", regroupant mult boîteries, mammites et métrites (BROCHART et FAYET, 1981).

Chez les herbivores, l'inhibition de la motricité digestive résultant du manque de fibres se traduit surtout par des troubles métaboliques, dûs à un excès relatif d'éléments très digestibles et très fermentescibles.

Chez les non herbivores, c'est la constipation, facilitant les auto-intoxications de toutes sortes, qui semble être le problème pathologique majeur inérant au défaut de fibres.

Il est enfin intéressant de constater que des troubles comportementaux surviennent chez l'animal dont la nourriture ne comprend pas d'éléments de texture fibreuse, et qui présente alors des activités de remplacement préjudiciables à ses performances.

c - Fibres et Cancer

Le taux de cancers recto-coliques est en relation directe avec la proportion des graisses de l'alimentation et inversement proportionnel à la quantité de fibres ingérées, d'après BURKITT (1978) ; il attribue ce phénomène à la stase des excréments dans les réservoirs digestifs, qui exarcerbe le rôle des carcinogènes dont la production est accrue dans le même temps.

SPILLER (1981), dans une étude récente, confirme le rôle prophylactique de certains types de fibres vis à vis de la diverticulose et des cancers coliques.

Notamment, il rapporte que le son protège les rats contre les cancers du côlon, induit par la Dimethylhydrazine ; de même, le taux de tumeurs du grêle diminue chez les souris traitées à l'azoxyméthane, lorsqu'on leur administre de la cellulose.

A l'inverse, les carragénannes peuvent être à l'origine d'une toxicité chronique génératrice de cancers (MARCUS et WATT, 1980), et les pectines n'ont pas montré d'effets protecteurs, vis à vis des processus tumoraux.

Ce type de résultats contradictoires, tend à montrer qu'on ne peut pas considérer toutes les fibres sous le même angle.

B) Fibres et Diabète

La mise en relation étroite entre le diabète et la déficience en fibres du régime (TROWELL, 1972), a été confirmée par de nombreuses études, qui ont montré qu'un certain type de fibres modifie la glycémie post-prandiale.

Ainsi, le taux de glucose sanguin est nettement diminué

lorsqu'un repas test, constitué de jus de citron additionné de glucose est absorbé par l'homme avec ou sans gomme (Fig. 9).

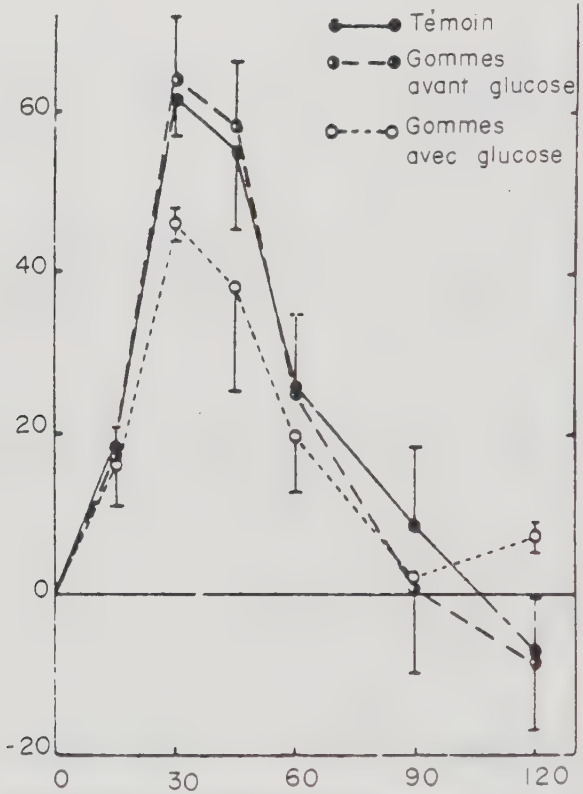


Fig. 9 : VARIATION DE LA GLYCEMIE APRES ABSORPTION DE JUS DE CITRON ET DE GLUCOSE AVEC OU SANS GOMME (d'après JENKINS et al., 1979).

ELLIS et al., (1981), ont montré que le remplacement de la farine par des gommes en taux suffisant dans du pain abaissait l'insulinémie (de 48 % avec 59 g gomme/kg de pain) Fig. 10).

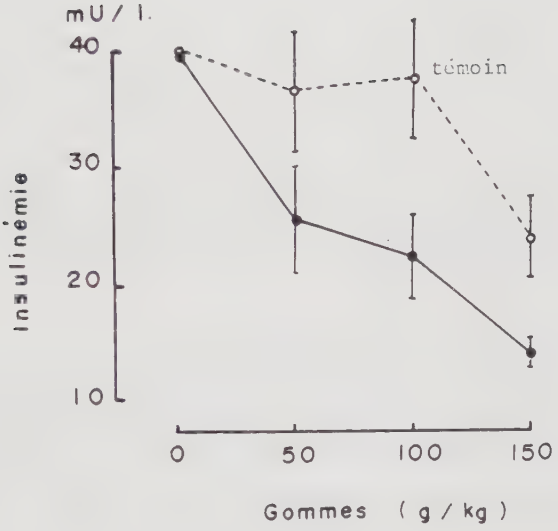


Fig. 10 : DIMINUTION DE L'INSULINEMIE EN FONCTION DU TAUX CROISSANT DES GOMMES INCLUSES DANS LE PAIN (60 JOURS APRES SON INGESTION) (d'après ELLIS et al., 1981).

Chez le porc, l'évolution de la glycémie et de l'insulinémie est modifiée par la présence de gomme dans le repas (LEEDS et al., 1980) : 50 g de gomme de Guar* abaissent le taux sanguin de glucose de 14 mM/l à 11,5 mM/l, 1 heure après la prise de nourriture ; la concentration d'insuline est aussi diminuée.

Le porc, à cette occasion, montre son aptitude intéressante, à être utilisé une fois de plus, comme "modèle" de l'homme.

*(Galactomannane extrait d'un haricot indien : *Cyanopsis tetragonaloba*).

C) Fibres et Lipides

L'absorption des lipides est altérée par la présence de fibres (Tableau 8). L'effet hypocholestérolémiant du son a été montré par MUNOZ et al., (1979), qui enregistre aussi une diminution du taux des triglycérides sanguins.

Tableau 8 : EFFET DES FIBRES SUR LES LIPIDES SANGUINS (d'après STORY et KRITCHEVSKY, 1978).

Espèces	*Fibres*	*Taux dans la ration*	*Durée (semaine)*	*Cholestérol sérum*	*Cholestérol foie*	*Triglycérides sérum*	*Triglycérides foie*
Rat	Gomme	5 - 10 %	4	↓	↓	-	-
Rat	Pectines	5 - 10 %	4	↓	↓	-	-
Porcs	Pectines	5 %	12	↑	↑	-	↓
Poulet	Gomme	10 %	4	↓	-	-	-
Lapin	Pectines	5 %		↓	-	-	-
Homme	Pectines	15 g/j	3	↓		↓	
	Cellulose	15 g/j	6	0			

La lignine montre une aptitude particulière à fixer les acides biliaires (KAY et al., 1979).

Chez le porc, le son n'a pas d'effet hypocholesterolémiant (KIM et al., 1981).

D) Fibres et Toxicité.

L'action protectrice des fibres vis à vis d'un certain nombre de substances toxiques a été envisagée par KIMURA, qui détermine une diminution des effets néfastes de l'Amaranthe, du PEG, du Tween 20 (KIMURA et al., 1980).

A l'inverse, les carragénannes sont reconnus responsables d'effets toxiques marqués (BERENHOLC - 1982). L'un deux, très utilisé et connu sous la dénomination E 407, est soumis à la législation de la CEE puisque sa Dose Journalière Admissible (D.J.A.) est fixée à 75 mg/kg de poids corporel. BERENHOLC a étudié les effets ulcérogènes (sur la muqueuse caeco-colique) et dépresseurs de l'activité macrophagique du E 407, en concluant à la nécessité d'une révision de la législation concernant cet additif.

E) Fibres et Minéraux.

La maladie du son, qui affectait surtout les chevaux de meuniers, est une ostéofibrose déformant les os nasaux ; l'animal présente alors un profil busqué du chanfrein. A l'origine de cette affection, se trouve un déséquilibre phosphocalcique dû à l'accroissement de l'excrétion fécale du calcium après ingestion par le cheval d'une quantité importante de son.

Chez le macaque, SPILLER et al., (1980a), ont attribué aux phytates présents dans le son la responsabilité de l'augmentation des taux

de fer et de calcium fécaux, puisque les fibres purifiées testées (cellulose, pectines) ne modifient pas les pertes fécales en minéraux, alors que chez le porc, l'absorption caeco-colique du phosphore, du magnésium, du potassium et du zinc, est réduite lors de l'administration de régime à haute teneur en cellulose (PARTRIDGE - 1978).

F) Fibres et Médicaments.

Les effets directs des fibres sur l'absorption des médicaments par la muqueuse digestive sont peu connus :

HOLT et al., (1979), montrent l'effet inhibiteur d'un mélange de gommes et de pectines sur l'absorption du paracetamol chez l'homme ; BROWN et al., (1979), montrent l'effet inverse avec les pectines chez le rat (dans le deuxième cas, les pectines sont administrées de façon chronique).

Chez l'homme, les pectines diminuent l'absorption de la digoxine, (BROWN et JUHL, 1976) et augmentent celle de la Vitamine A, donnée per os, comme la cellulose purifiée, le son et les carragénannes (KASPER et al., 1979).

Il serait intéressant d'approfondir les relations fibres - médicaments, dans le domaine des drogues agissant par voie orale directement sur la sphère digestive.

Sans pour autant les assimiler à la Panacée universelle, on doit donc reconnaître aux fibres des propriétés qui justifient largement des études approfondies. Encore faut-il préciser les limites de leur utilisation bénéfique qui sont encore floues, en particulier dans le domaine de la motricité gastro-intestinale.

II - EFFETS DES FIBRES SUR LA MOTRICITE GASTRO-INTESTINALE :

"DUR À L'ENTRÉE, MOU À LA SORTIE (HEATON).

1) EFFET SUR LE TRANSIT

A) Chez l'Homme (Tableau 9).

WILLIAMS et OLSTED, ont établi en 1936, la liste des produits entraînant une augmentation du poids des fèces de l'homme normal. STEICHER et QUIRK, en 1941, ont amélioré la constipation de 109 patients sur 135 traités par du son. Dans le même esprit, de nombreuses études ont permis de tester avec succès différents éléments fibreux vis à vis de régimes pauvres en fibres (MITCHELL et EASTWOOD, 1978) ; plus récemment, les éléments constitutifs de la paroi des cellules végétales, ont été testés individuellement.

Ainsi, SPILLER et al., 1979, ont comparé l'effet laxatif du psyllium (extrait de graines de Plantago ofra ou Plantago ovata) et d'une préparation à base de pectines et de cellulose purifiées, obtenant des résultats très proches dans les deux cas. L'adjonction de son à un régime à très haute teneur en protéines, provoque une accélération du transit (CUMMINGS et al., 1979) ; alors qu'il est ralenti chez des individus qui boivent le jus de fruits et de légumes vis à vis de ceux qui les absorbent entiers (KELSAY, 1978).

Les études épidémiologiques de BURKITT ont montré les différences considérables du point de vue fonctionnel dues aux habitudes alimentaires de plusieurs types de société (Fig. 11).

Tableau 9 : L'EFFET LAXATIF DES FIBRES CHEZ L'HOMME.

Référence	Consommation de fibres (g/j)	M.R.T.* (h)	Poids frais des fèces (g/j)	Teneur en eau des fèces (%)
Cummings et al	*53,8*	*50*	*210*	*73,2*
1979	*21,8*	*70*	*80,5*	*75,7*
Spiller et al	*20*	*62,4*	*100*	
1979	*0*	*96*	*60*	
Kelsay et al	*20*	*38*	*208*	*74,6*
1978	*3*	*52*	*89*	*73*

* *Mean Retention Time : Temps de rétention moyen de marqueurs administrés dans l'alimentation.*

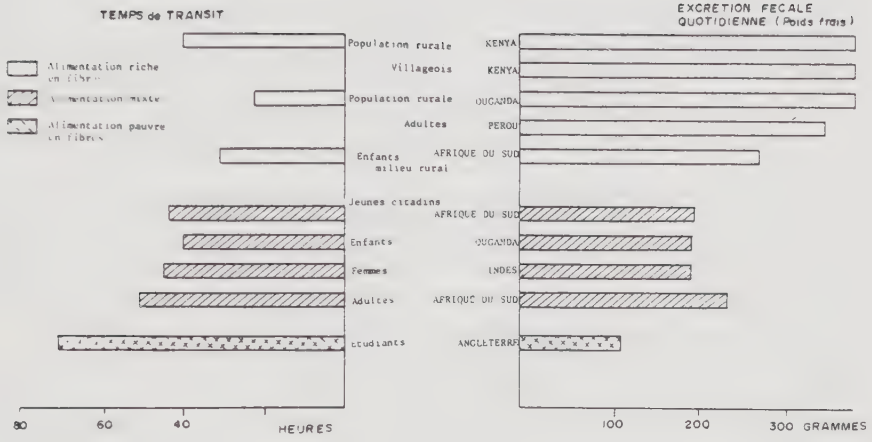


Fig. 11 : TEMPS DE TRANSIT ET EXCRETION FECALE DANS DIVERS TYPES SOCIAUX (d'après BURKITT, 1976).

Divers types de fibres n'ont pas le même effet. En particulier, les pectines augmentent le temps de transit (SPILLER - 1980).

B) Chez l'Animal.

CANGUILHEM et LABIE (1977), ont mis en évidence l'accélération du transit par le son chez des porcs préalablement constipés par du lait

en poudre (Fig. 12).

Le porc ainsi alimenté, est un très bon modèle de constipation expérimentale.

Ce résultat est confirmé par FIORAMONTI et BUENO (1980) qui constatent que le temps de transit du porc, nourri au lait en poudre est réduit de moitié par l'administration de 100 g de son par jour, alors que le poids des fèces est doublé.

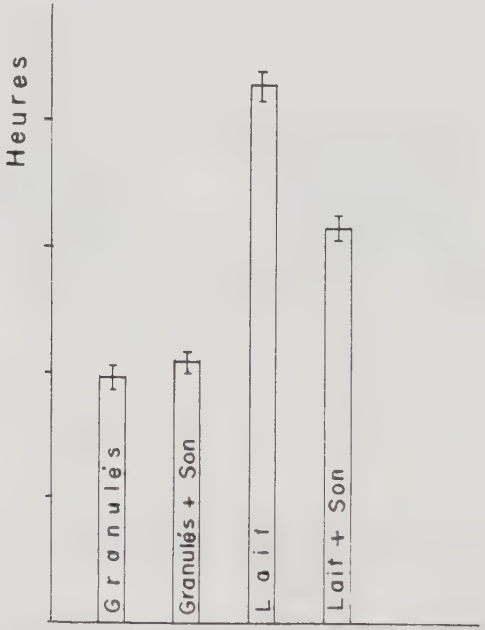


Fig. 12 : DUREE DU TRANSIT EN FONCTION DU REGIME ALIMENTAIRE (d'après CANGUILHEM et LABIE, 1977).

Le temps de transit retenu est celui de récupération de 80 % du marqueur (particule de polyéthylène) intégrés dans l'aliment.

Selon BRODRIBB et al., (1980), des résultats comparables sont obtenus chez le macaque (Tableau 10).

Chez le chien, l'adjonction de son (20 g) à la ration habituelle entraîne l'augmentation du poids des fèces sèches et fraîches, sans variation de leur teneur en eau (PONCIN - 1981). Chez le porc, son addition aux granulés n'entraînant pas de modification, le son apparaît comme un régulateur d'un transit anormalement long.

Chez le lapin, l'utilisation d'un marqueur radio-actif (Ce^{141}) a permis de montrer que la suppression de la cellulose du régime alimentaire (huile de soja et manioc) entraîne une augmentation nette du temps de rétention de l'aliment (LEBAS et LAPLACE, 1977).

Tableau 10 : EFFET LAXATIF DES FIBRES CHEZ L'ANIMAL.

	Apport de fibres (g/j)	Poids fèces (g.MS/j)	Humidité (%)	Temps de transit (heures)
Singe (BRODRIBB et al., 1980)	0	5,69	76,1	82
	5	7,73	77,4	70
	15	16,39	76,8	40
	20	18,98	73,3	38
Porc (FIORAMONTI et BUENO, 1980)	150	276	71,9	40,5
	100	167	67,2	66,2
	0	73,5	62,5	120,3

Ces résultats sont obtenus en considérant le transit global, oro-anal. BUENO et al., (1981), ont étudié l'effet des fibres sur le transit jéjunal chez le chien, qui augmente de 51 % avec les gommes, de 28 % avec

le son, et de 900 % avec la cellulose (Fig. 13).

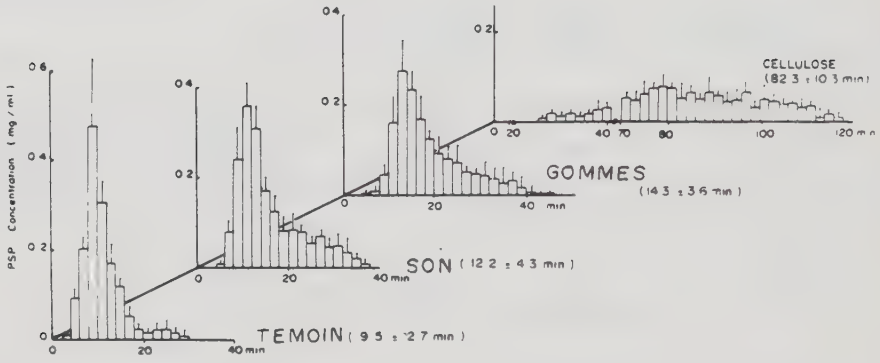


Fig. 13 : FIBRES ET TRANSIT JEJUNAL.

Evolution de la concentration en phenolsulfonephtaléine (PSP) et temps de transit jéjunal le long de deux mètres d'intestin après injection d'un bol de PSP, 2 heures après le repas chez le chien (500 g de nourriture témoin + 30 g de son, cellulose, ou gomme) d'après BUENO et al., (1981).

Il semble donc que l'effet accélérateur des fibres sur le transit global soit dû à des modifications de la motricité du tractus digestif postérieur.

Cependant, les modifications de la vidange gastrique et du débit intestinal peuvent jouer un rôle majeur dans l'absorption des *nutriments et plus généralement des xénobiotiques présents* dans la lumière.

2) EFFET SUR LES PROFILS MOTEURS :

L'utilisation d'électrodes implantées dans la paroi des viscères et l'enregistrement de l'activité contractile par des jauges de contrainte, permettent de définir des profils moteurs qui peuvent être modifiés en fonction du régime alimentaire.

A) Intestin grêle

Rappel :

L'activité du grêle d'un mammifère à jeûn se traduit électriquement par l'occurence cyclique de complexes myoélectriques constitués de deux phases d'activité :

- une phase d'activité irrégulière correspondant à l'apparition de potentiels de pointe qui sont associés de façon aléatoire, aux ondes lentes permanentes constituant le rythme de base de l'intestin.

- une phase d'activité régulière, pendant laquelle chaque onde lente est surchargée par un potentiel de pointe.

Les complexes sont propagés lentement depuis le duodénum jusqu'à l'iléon terminal ; ils sont séparés par une période de repos durant laquelle les ondes lentes seules sont présentes.

Cette organisation est modifiée en période post-prandiale, notamment chez le chien (une activité irrégulière permanente est enregistrée pendant 6 à 10 heures après un repas) et chez le porc (la durée des périodes de repos s'accroît progressivement avec l'éloignement de la prise de

nourriture). Chez les ruminants, dont la réplétion gastrique est permanente, l'organisation en complexes myoélectriques est indépendante de l'ingestion alimentaire.

Le transit des digesta, est assurée par les contractions de la phase d'activité irrégulière. Chez le chien, on note des pics faibles de débit pendant toute la phase d'activité irrégulière, alors que chez le mouton, survient un maximum juste avant la phase régulière (BUENO et al., 1975).

Effets des fibres sur les profils moteurs du grêle :

L'incidence de l'addition à un aliment standard de 30 g de son de blé, de cellulose ou de gomme, a été étudiée chez le chien (BUENO et al., 1980). Dans les trois cas, la durée de la désorganisation post-prandiale est augmentée de 40 à 50 % dans le duodénum.

Le rythme des contractions duodéno-jéjunales double avec le son ou la cellulose ; l'adjonction de gommes entraîne une activité continue mais de moindre amplitude (Fig. 14).

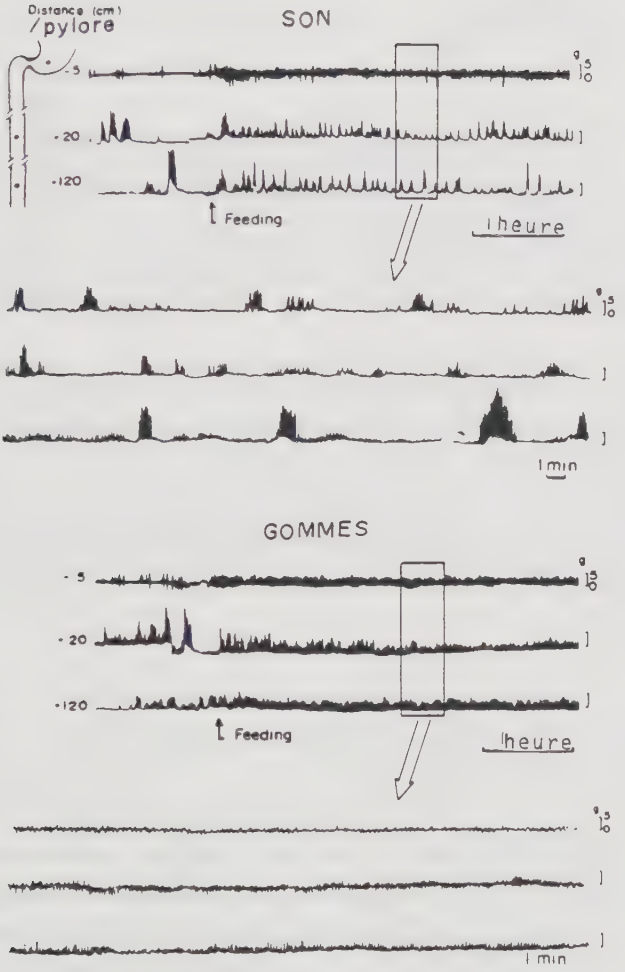


Fig. 14 : FIBRES ET PROFILS MOTEURS DU GRELE (d'après BUENO et al., 1980).

Enregistrement à 2 vitesses différentes des activités antrale, duodénale et jéjunale après un repas contenant du son ou des gommes.

B) Gros intestin

Rappel :

Le segment caeco-colique présente une activité beaucoup plus complexe que celle, relativement homogène d'une espèce à l'autre, du grêle.

On retrouve généralement une dualité de l'activité rapide (FIORAMONTI, 1981) :

- des longues salves de potentiel, les LSB (Long Spike Bursts).
- des brèves salves de potentiel, les SSB (Short Spike Bursts).

Les LSB sont propagées et correspondent à l'activité propulsive, chaque LSB se traduisant par une contraction individualisée de la paroi; par contre, les SSB, localisées représentent l'activité tonique (FIORAMONTI et al., 1980).

La répartition des activités propulsive et tonique, sur le côlon, conditionnent les caractères de l'émission fécale.

Lorsque les deux types d'activité coexistent à tous les niveaux du côlon, les LSB regroupées en phases, produisent des fèces moulées ; c'est le cas du chien et du porc ; lorsque c'est l'activité SSB qui est quasi-constante sur un segment colique (côlon proximal chez le lapin et distal chez le mouton), l'activité tonique permanente associée au péristaltisme cyclique est à l'origine de la formation de crottes.

Les bouses des bovins résultent de la propagation lente de phases de contractions de forte amplitude.

C'est l'alimentation qui constitue le principal facteur de contrôle de la motricité colique. Chez les monogastriques, la réponse post-prandiale est en général biphasique : la première phase, brève, représente le réflexe gastro-colique ; la seconde, plus tardive et plus longue, correspond à l'arrivée des digesta dans le côlon.

Nous allons exposer quelques unes des modalités selon lesquelles les fibres alimentaires peuvent moduler les profils moteurs du segment caeco-colique.

Effets des fibres sur les profils moteurs du gros intestin :

L'effet des fibres est manifeste sur le segment caeco-colique du porc (Fig. 15) : le nombre quotidien de salves d'activité contractile double (510 à 1066) chez des porcs préalablement constipés au lait et dont la ration est supplémentée par du son de blé grossier (170 g/kg MS), (FIORAMONTI et BUENO, 1980).

Chez le chien essentiellement carnivore, un régime contenant 13,5 % de fibres induit un profil d'activité propulsive quasi continue, se traduisant par une diarrhée (204 g/j fèces 10,1 % MS) ; à l'inverse, une activité tonique est prépondérante lors d'une constipation induite par un régime exclusivement carné (Fig. 16). Le chien s'adapte assez mal à un régime riche en fibres, ce qui n'est pas le cas du porc.

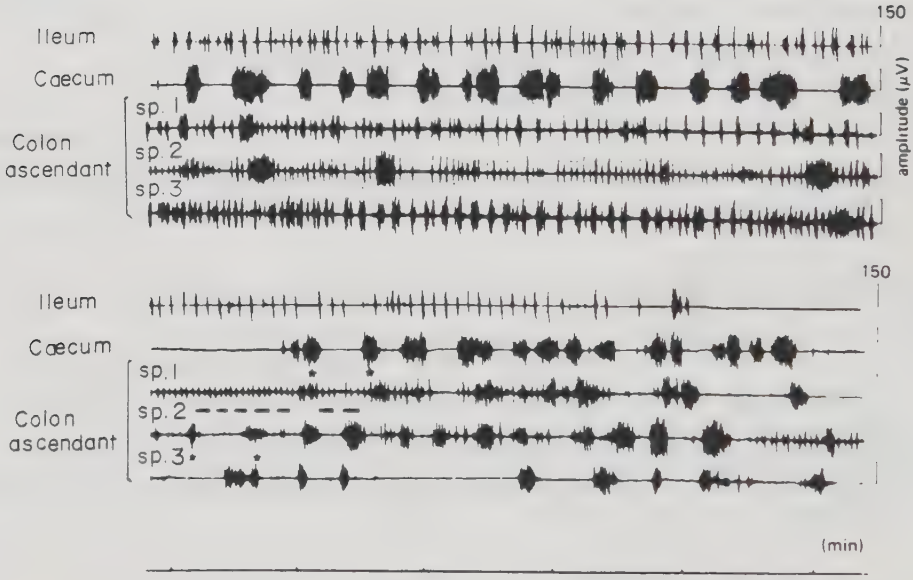


Fig. 15 : SON ET PROFILS MOTEURS CHEZ LE PORC (d'après FIORAMONTI et BUENO, 1980).

en haut : Electromyogramme caeco-colique d'un porc recevant un régime standard à base de granulés contenant 15 % de fibres (VAN SOEST). On remarque les LSB (*) correspondant à l'activité propulsive, et les SSB (--) traduisant l'activité tonique.

en bas : Lors de constipation engendrée par une alimentation lactée (lait en poudre pour veau), l'activité tonique localisée (SSB) est nettement prépondérante sur le côlon ; le caecum montre une activité accrue.

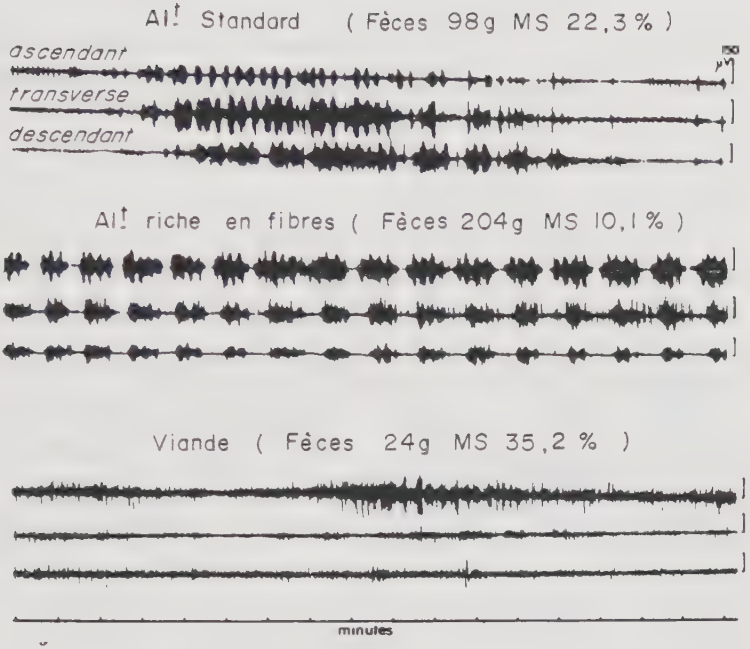


Fig. 16 : FIBRES ET PROFILS MOTEURS DU COLON DU CHIEN (d'après FIORAMONTI et al., 1980).

L'activité enregistrée à partir de trois électrodes situées respectivement sur le côlon ascendant, transverse et descendant, chez un chien recevant un aliment en boîte, un aliment riche en céréales ou seulement de la viande. Dans le cas du régime riche en fibres, les salves propulsives sont enregistrées en permanence.

Chez le singe, BRODRIBB et al., (1980), ont mis en évidence une augmentation de l'activité électrique du côlon droit, qui ne survient qu'à partir d' une adjonction de 20 g de fibres à la ration (Fig. 17).

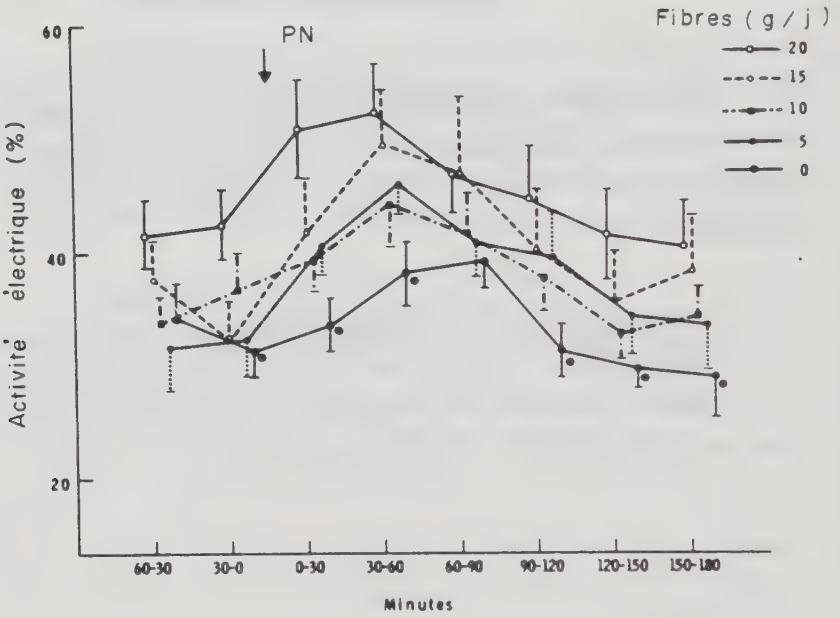


Fig. 17 : ACTIVITE ELECTRIQUE DU COLON DE SINGE.

Les astérisques indiquent une différence significative d'avec le régime à 20 g /j.

Les mêmes auteurs cherchant à établir des relations entre l'activité électrique et les phénomènes mécaniques, ont étudié la pression endoluminale colique chez le singe.

3) MODIFICATIONS DE LA PRESSION INTRALUMINALE COLIQUE.

Si seul le côlon droit permettait l'enregistrement de variations de l'activité électrique dues aux fibres, sur le côlon gauche, ce sont des augmentations de pression concomittentes à la baisse du taux de fibres qui ont été mises en évidence (Fig. 18).

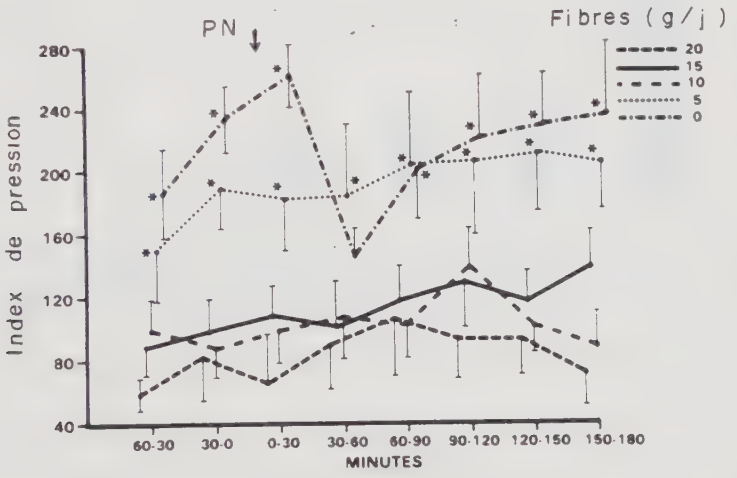


Fig. 18 : PRESSION INTRALUMINALE DU COLON DE SINGE (d'après BRODRIBB et al., 1979).

Les astérisques indiquent une différence significative d'avec le régime à 20 g/j.

La divergence des réponses entre les deux côlons droit et gauche, n'est pas expliquée actuellement :

Ainsi, les effets des fibres sur l'activité fonctionnelle du tractus sont nets. Mais elles entraînent aussi des modifications lentes de sa morphologie.

4) EFFETS TROPHIQUES SUR LE TRACTUS DIGESTIF

Pour RUCKEBUSCH et al., (1981), la réponse à terme à un régime stable, même déséquilibré, est morphologique. Un rat recevant 20 % de fibres dans sa ration, triple le poids de ses fèces et l'épaisseur de la couche des fibres musculaires circulaires de son côlon est accrue de 40 %.

L'addition d'α cellulose à un régime synthétique modifie les paramètres physiques du grêle chez le rat (ECKNAUER et al., 1981) ; son poids et sa circonférence augmentent, de même que la largeur des villosités alors que leur hauteur diminue ; le turn over est aussi augmenté.

Une étude en microscopie électronique a permis d'établir le degré des variations morphologiques des muqueuses jéjunales et coliques en rapport avec les fibres ingérées (CASSIDY et al., 1981), (Fig. 19).

Les effets à court terme des fibres seraient plutôt d'ordre fonctionnel. Selon FREXINOS (1977), le son ne modifie que des transits trop longs ou trop courts. Quant à la prévention de toutes les maladies modernes, préconisées par BURKITT, elle a été largement

controversée (MENDELOFF, 1976).

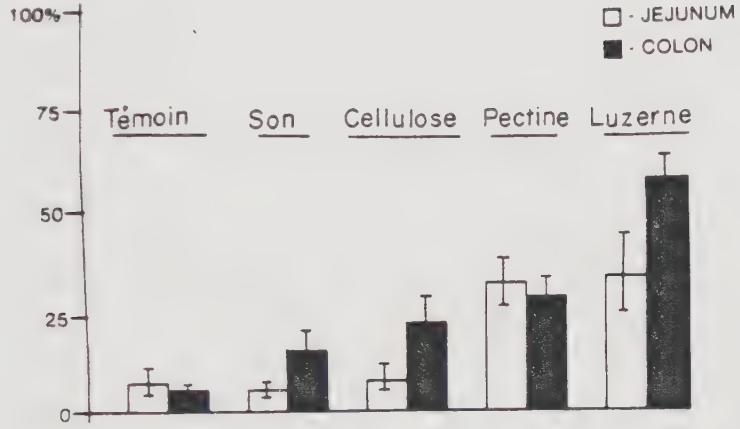


Fig. 19 : MODIFICATIONS HISTOTROPHIQUES ASSOCIEES A LA PRESENCE DE FIBRES DANS LA RATION (d'après CASSIDY et al., 1981).

Les animaux ont reçu 15 g de chaque type de fibres pour 100 g d'aliment.

Cependant, les améliorations thérapeutiques obtenues sont suffisantes pour justifier les tentatives d'explications de ces phénomènes encore mal connus, sans doute du fait que les études souvent menées par des cliniciens, s'arrêtaient à la satisfaction du malade et non à celle du chercheur.

III - LE MODE D'ACTION DES FIBRES SUR LA MOTRICITE DIGESTIVE : HYPOTHESE PHYSIQUE OU FERMENTAIRE.

Actuellement, il est difficile d'établir les mécanismes qui régissent l'effet des fibres sur la motricité ; on peut dégager de la littérature deux tendances :

* la première, expliquant les propriétés des fibres par des effets physiques ;
* la deuxième, attribuant aux produits de leur dégradation, la responsabilité de leur action.

1) HYPOTHESE PHYSIQUE

A) Action mécanique

Les effets de l'administration à l'Homme de son moulu plus ou moins finement sont différents (HELLER et al., 1980). En effet, plus les particules de son sont fines, moins l'effet accélérateur est marqué (Tableau 11). Dès lors, on peut expliquer cette amélioration du transit par un effet mécanique.

Tableau 11 : EFFETS DE LA MOUTURE SUR L'ACTION LAXATIVE DU SON (d'après HELLER et al., 1980).

	Son grossier	Son fin	Sans fibre
Temps de Transit (h)			
avec particules PEG	*42,3*	*57,9*	*> 70*
Marqueurs Radio Opaques	*37,4*	*56,5*	*> 70*
Fèces			
Poids Frais en g/j	*123,3*	*108,3*	
MS %	*24,8*	*27,7*	

Les auteurs notent une grande capacité de rétention d'eau pour le son grossier, et remarque une digestibilité accrue du son fin.

D'autant que des études menées chez le lapin (COLIN et al., 1976), ont montré que le remplacement de la cellulose dans le régime par de

la vermiculite se traduit par une augmentation de la vitesse de transit. De plus, le broyage fin d'un aliment constitué pour moitié de luzerne, entraîne un allongement du temps de rétention chez le lapin.

B) Pouvoir de rétention d'eau (P.R.E.)

La mise en cause du P.R.E. du son dans son activité a été souvent envisagée. D'autant que l'augmentation du poids des fèces s'accompagne d'une élévation de la perte en eau par le tractus digestif, le taux de matière sèche changeant peu. Le pouvoir de rétention d'eau a donc été testé sur différents types de fibres, et mis en relation avec l'augmentation du poids des fèces obtenue après administration de ces fibres à l'Homme (STEPHENS et CUMMINGS, 1979). Il ressort de cette étude que plus la capacité de rétention d'eau (*in vitro*) est grande, moins l'effet laxatif est important (Tableau 12).

Tableau 12 : LE POUVOIR DE RETENTION D'EAU DES FIBRES ET LA MODIFICATION DU POIDS DES FECES (d'après STEPHENS et CUMMINGS, 1979).

	Rétention d'eau (g d'eau/g)	Augmentation du poids des fèces (%)
Son	*4,2*	*117*
Pectines	*56,2*	*19*
Gomme de guar	*21,4*	*10*
Pomme	*12,8*	*25*
Carotte	*11,8*	*30*

Cependant, les pectines sont beaucoup plus dégradées que le son, *in vivo*. On doit donc considérer que le comportement des fibres dans les réservoirs digestifs peut se modifier en fonction de leur dégradation respective.

Ainsi, l'augmentation de la viscosité du contenu de l'estomac et du grêle, chez des rats dont les repas sont supplémentés avec de la gomme de guar, ne se retrouve pas dans le côlon (BLACKBURN et JOHNSON, 1981).

Le transit oro-caecal d'un liquide supplémenté en gomme chez l'Homme, est augmenté de 100 à 120 % (LEEDS et al., 1975).

Les gommes sont en partie dégradées avant leur arrivée dans le côlon (comme les pectines, ou les hémicelluloses); leur action sur le gros intestin en est diminuée d'autant. A noter qu'elles ralentissent la vidange gastrique (HOLT et al., 1979).

Ainsi, selon le type de fibre, et la région du tube digestif considérés, ces résultats sont différents.

Il semble que la *texture fibreuse*, qui manque à de nombreuses "fibres alimentaires" purifiées, telles les gommes et les pectines utilisées en médecine humaine, explique ces divergences d'action. D'autant plus que le caractère fibreux et ligneux modifie la réponse des fibres aux attaques enzymatiques et bactériennes.

2) HYPOTHESE FERMENTAIRE

A) La théorie d'HELLENDOORN

C'est dans le caecum et le côlon que les fibres subissent l'action des microorganismes chez les monogastriques même non herbivores.

HELLENDOORN, qui classe les fibres en fonction de leur fermentescibilité, ne reconnaît pas l'origine mécanique de leur action sur le péristaltisme du gros intestin ; il attribue ces modifications aux produits formés lors de la fermentation des résidus non assimilables (AGV, gaz), dont la quantité augmente au fur et à mesure de la progression des digesta dans le tractus, alors que les produits d'origine sont de plus en plus rares ; ainsi, les propriétés *"in vitro"* des fibres ne peuvent plus être envisagées dans le tractus postérieur. Il s'appuie essentiellement sur le fait que des cobayes axéniques ne montrent pas de variation de vitesse de transit avec un régime fibreux (HELLENDOORN, 1978).

Ceci prouverait l'importance d'une population bactérienne pour la réalisation d'un "effet fibre".

Cependant, des individus axéniques n'ont pas les mêmes caractéristiques morphologiques, quant à leur tube digestif, que des individus holoxéniques.

Dès lors, on peut supposer qu'ils n'ont pas les mêmes réactions physiologique. En particulier, KOMAI et KIMURA (1980), ont montré les différences d'adaptation morphologiques à long terme à des régimes plus ou moins supplémentés en cellulose, chez des souris axéniques vis à vis de souris normales.

De nombreuses constatations expérimentales s'opposent à cette "hypothèse fermentaire" *in vivo* comme *in vitro*. En effet, chez les ruminants (SVENDSEN, 1974), les AGV ont une action inhibitrice sur la motricité ; CANDAU et al., (1976), montrent chez le poney que l'activité propulsive est diminuée, alors que l'activité tonique est augmentée lors de perfusion intracaecale d'AGV; *in vitro* sur l'intestin grêle du lapin SVENDSEN (1972) aboutit à des résultats comparables.

La formation de gaz entraîne une augmentation de pression ; l'apport de fibres semble la diminuer (BRODRIBB, 1980 ; TAYLOR et DUTHIE, 1976).

Si les métabolites provenant de la fermentation des fibres ont des rôles énergétiques, pharmacologiques non contestés, ils ne sont certainement pas prépondérants dans les phénomènes moteurs. Aussi avons-nous procédé à une série d'expérimentations visant à déterminer le rôle exact des AGV vis à vis du transit des digesta.

B) Etude expérimentale

a - Acides gras volatils et transit

La digestion microbienne des éléments végétaux fibreux a été très étudiée chez les ruminants, dont les pré-estomacs forment un écosystème très propice aux fermentations.

Chez les autres espèces, des conditions physiologiques comparables sont réalisées dans le segment caeco-colique : substrat fibreux peu ou pas digestible dans le grêle, temps de rétention important, ambiance anaérobie et milieu tamponné. Mais malgré ces conditions favorables, la digestion de la cellulose est toujours plus faible chez les monogastriques même chez les herbivores, où elle représente pour un fourrage de qualité comparable, les $\frac{2}{3}$ chez le cheval (HINTZ, 1969) et la moitié chez le lapin (SLADE et HINTZ, 1969) de celle observée chez la vache.

Parmi les métabolites résultant de cette utilisation des fibres par les micro-organismes, les AGV tiennent une large place ; ils représentent la clé de voute de "l'hypothèse fermentaire" par laquelle certains auteurs expliquent le rôle favorable des fibres sur un transit ralenti (HELLENDOORN, 1978).

Méthodes :

Cette étude a été menée sur quatre porcs pesant approximativement 70 kg au commencement de l'expérience. Chaque porc était équipé d'un cathéter chronique intra-caecal (diam. int. 2 mm) placé entre la pointe et la valvule iléo-caecale, et extériorisé sur le flanc gauche. Les porcs ont été placés, après l'intervention chirurgicale, dans des cages individuelles, pour une période d'adaptation de 10 jours.

Le régime de base était constitué de lait en poudre pour veau (20 g/kg/j), distribué une fois par jour à 9 heures ; l'eau était fournie *ad libitum*.

Le déroulement des différentes phases de l'expérience est résumé dans la figure 20. D'une façon générale, nous avons respecté une phase d'adaptation à chaque nouveau traitement avant d'entamer les mesures.

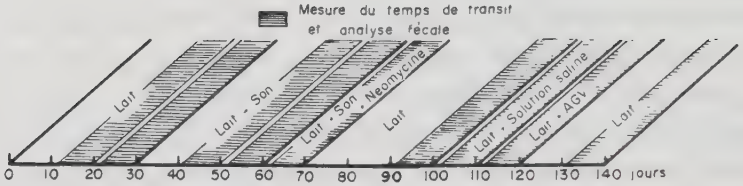


Fig. 20 : DEROULEMENT DE L'EXPERIMENTATION POUR LES DIFFERENTS TRAITEMENTS, LES MESURES DE TRANSIT ET LES ANALYSES D'AGV FECAUX.

A partir du régime de base, nous avons réalisé les opérations suivantes :

- adjonction de son (100 g/j).
- adjonction de son + administration de sulfate de néomycine (200 mg/kg/j ; $\frac{1}{2}$ *per os* ; $\frac{1}{2}$ intra-caecale).
- perfusion continue intra-caecale d'une solution saline (340 *m Osm/l*, pH 6,6).
- perfusion continue intra-caecale d'une solution d'AGV (C_2 65 % ; C_3 25 % ; C_4 10 %) ajustée à 340 *m Osm/l*, pH 6,6.

La dernière partie de l'expérience a consisté à vérifier l'intégrité du tractus digestif par de nouveaux contrôles de transit sur un régime lacté exclusivement.

Pour chaque phase de l'expérience, des mesures de transit oro-anal ont été effectués, grâce à un marqueur introduit dans la ration.

Le marqueur était constitué de cinquante particules de polyvinyl coloré, (diam. : 5 mm) et le temps moyen de rétention (Mean

Retention Time, MRT), calculé selon la méthode de CASTLE et CASTLE (1956). Les fèces étaient récoltées 3 fois par jour ; l'excrétion fécale quotidienne était mesurée, et les échantillons destinés à l'analyse (AGV, M.S.) ont été prélevés directement dans le rectum, approximativement à la même heure chaque jour.

Les prélèvements destinés à l'analyse des AGV, immédiatement pesés (8 - 10 g environ), étaient mélangés avec 10 ml d'eau distillée pendant trois minutes ; les fermentations étaient stoppées par l'adjonction de deux gouttes d'H_2SO_4 (12 N) ; nous procédions ensuite à une centrifugation du mélange (5000 t.mn, 20 mn, 0°C) et le surnageant était placé au congélateur (-25°C) jusqu'à analyse.

Après décongélation, un aliquot de 0,8 ml était mélangé à 0,2 ml d'acide métaphosphorique.

Le taux d'AGV était alors mesuré par chromatographie en phase gazeuse, sur un chromatographe INTERSMAT 120 DFL_2 (colonne : 20 % NPGA, 2 % H_3PO_4, CHROMOSORB WAN DMCS 80/10).

Résultats :

Temps de transit et excrétion fécale :

Le Temps Moyen de Rétention (MRT) du marqueur était de 98,6 ± 5,8 h. avec le régime lait. L'effet de l'addition de son est une réduction de 35 % du temps de transit (MRT = 64,3 ± 3,8 h.). Le traitement à la néomycine n'a pas entraîné de modification significative (MRT = 66,4 ± 4 h.) (Fig. 21).

Par contre, les perfusions continues de la solution d'AGV augmentent le MRT jusqu'à 11,3 ± 3,9 h. ($P < 0,01$).

L'effet de la solution saline n'est pas significatif (MRT = 101,7 ± 6,4 h.). De même, les mesures effectuées en fin d'expérimentation avec un régime exclusivement lacté n'ont pas montré de différence vis à vis du premier régime témoin.

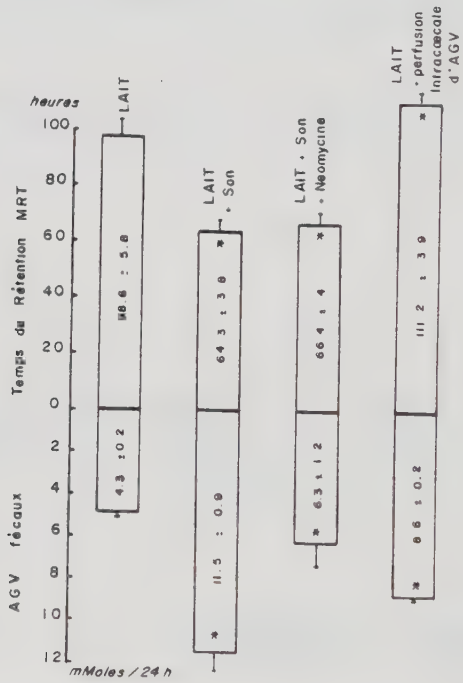


Fig. 21 : TEMPS DE TRANSIT ET EXCRETION FECALE :

Les astérisques indiquent les différences significatives d'avec le témoin Lait ($P < 0,001$).

Les quantités de fèces excrétées pendant les différents régimes sont représentées dans la Figure 18. Les variations enregistrées entre le régime "Lait" et le régime "Lait + Son", sont comparables à celles obtenues antérieurement (CANGUILHEM et LABIE, 1976 ; FIORAMONTI et BUENO, 1980) avec

des porcs plus âgés. L'addition de son augmente le poids frais des fèces (291 ± 14,6 g versus 182 ± 11,5 g par jour). De plus, on note une légère diminution de la matière sèche (41,7 ± 0,9 % contre 46,3 ± 1 % avec le lait seul) subsistant sous le traitement antibiotique (40,8 ± 1,7). Avec les perfusions d'AGV, le taux de MS remonte à 54,1 ± 2,5 % (Fig. 22).

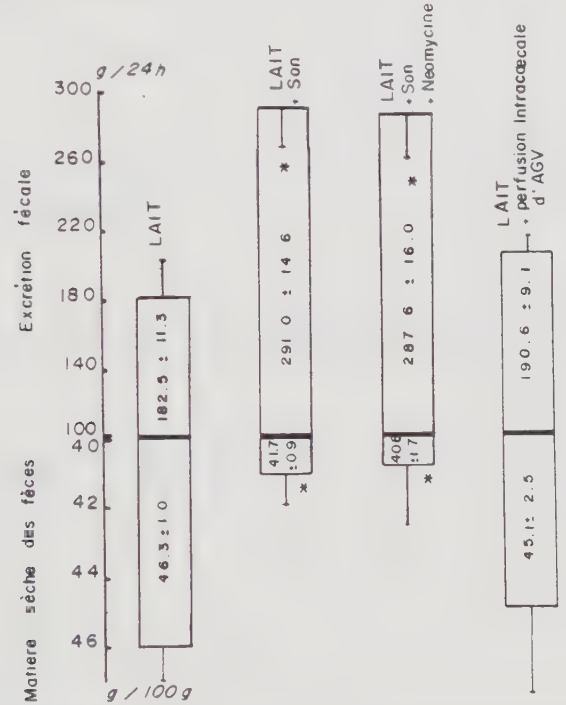


Fig. 22 : EXCRETION FECALE (/JOUR) ET MATIERE SECHE EN FONCTION DU TRAITEMENT. (Les astérisques indiquent les différences significatives d'avec le témoin Lait).

AGV fécaux :

L'excrétion journalière des AGV s'est élevée à 4,3 ± 0,2 mMole pour le régime lacté, taux élevé de 167 % par l'addition de 100 g de son.

L'addition de néomycine rabaisse l'excretion fécale de 47 %, et la perfusion d'AGV intra-caecale la double par rapport au régime Lait (Fig. 17).

Les proportions individuelles des AGV sont indiquées au Tableau 13. L'acide acétique est majoritaire dans tous les cas. Les acides valérique et iso-valérique sont présents en petite quantité, et on a relevé des traces d'acide iso-butyrique.

L'addition de son au régime lait entraîne une diminution du taux d'acide acétique (64,6 % vs 73,5) avec une augmentation de l'acide propionique (14,7 % vs 8,8 %).

Tableau 13 : PROPORTIONS DES AGV PRESENTS DANS LES FECES EN FONCTION DU TRAITEMENT.

	Lait	*Lait + Son*	*Lait + Son + Néomycine*	*Lait + Solution saline*	*Lait + AGV*
Acétique	71,4±4,7*	62,6±4,2	67,5±5,5	71,9±5,4	63,2±4,0
Propionique	7,5±1,3	13,7±2,5	15,2±3,1	6,9±2,1	14,4±1,8
Butyrique	16,2±1,8	18,7±2,9	13,2±3,4	15,9±2,4	19,2±3,6
Autres AGV**	4,9±0,6	5,0±0,4	4,1±0,9	5,3±0,4	3,20±0,9

** en % de la concentration molaire*

*** acides isobutyrique, valérique, isovalérique*

Ni pendant les traitements à la néomycine, ni pendant les perfusions d'AGV ou de la solution saline, les proportions des différents acides n'ont changé de manière notable.

discussion :

Les résultats obtenus montrent que chez le porc :

1) l'accélération du transit, induite par le son, n'est pas affectée par un traitement antibiotique ayant diminué les quantités de produits de fermentation.

2) des perfusions intracaecales d'AGV en continu ne sont pas responsables de l'amélioration du transit chez des animaux constipés au lait.

La concentration fécale en AGV traduit la résultante de leur production et de leur absorption. Ainsi, lors de l'adjonction de son à un régime "Lait", l'augmentation des AGV fécaux pourrait être liée à une diminution de l'absorption associée à une accélération du transit. Le fait que la néomycine réduise leur concentration sans modifier le transit permet de rejeter cette hypothèse et valide le paramètre concentration fécale en AGV comme témoin de leur production caeco-colique d'une part, et de l'efficacité des antibiotiques d'autre part.

Le sulfate de néomycine avait déjà été utilisé pour réduire la concentration caecale (GARGALLO et ZIMMERMAN, 1978) et l'excrétion fécale (MASON et JUST, 1976) des AGV. Bien que nous n'ayons pas procédé à des coprocultures, on peut penser que le traitement antibiotique a largement perturbé la flore caeco-colique, tout au moins suffisamment pour diminuer la production d'AGV.

Nous avons montré que, même avec un bas niveau d'AGV dans le gros intestin, le son garde son effet accélérateur sur le transit digestif.

La très faible quantité d'acides gras à courte chaîne contenue dans les fèces de nos porcs, comparée à celle déterminée sur des animaux recevant des régimes standard (MASON et JUST, 1976 ; SAMBROOK, 1979), peut être expliquée par l'extrême digestibilité du lait, et ce malgré le fait que le lactose soit pour une grande part utilisable pour la fermentation (KIU-LI et al., 1978). Un tel régime, exclusivement lacté, est comparable au régime très riche en amidon et très pauvre en fibres, utilisé par SAMBROOK (1979) qui enregistrait, lui aussi, des taux très bas d'AGV fécaux (3,3 mMoles/j).

Nous avons noté une augmentation de l'excrétion fécale quotidienne des AGV, lorsqu'une petite quantité de son était ajoutée à un régime totalement dépourvu de fibres, alors que GARGALLO et ZIMMERMAN, (1978), n'obtiennent pas de modification de la concentration caecale d'AGV par élévation du taux de fibres ingérées. La raison en est sans doute que les pourcentages de fibres ne sont jamais nuls, dans leur protocole ; notre régime exclusivement lacté est totalement dépourvu de fibres.

Ainsi, nous pouvons affirmer que, chez le porc, les produits de fermentation n'augmentent pas la vitesse de transit des aliments.

Nous avons tenté d'établir le rôle joué par les AGV : dans les modifications de transit, par l'intermédiaire de perfusions en continu, qui nous permettaient de réaliser des conditions expérimentales proches de la réalité physiologique : les quantités d'AGV perfusées étaient de 100 mM/h. :

Or, les taux de production des AGV chez les porcs soumis à des régimes classiques ont été établis (IMOTO et NAMIOKA, 1978 ; KENELLY et al., 1981) : en moyenne, la production totale d'AGV (C_2, C_3, C_4) est de 60 mM/h., avec les proportions approximatives (C_2 65 ; C_3 25 ; C_4 10) ; nous avons perfusé 100 mM/h., avec un débit de 100 ml/h.

Ainsi, nous avons pu mettre en évidence l'effet "ralentisseur" des AGV sur le transit : en dépit de modifications consensuelles des taux fécaux d'AGV entre l'expérience "Son" et l'expérience "Perfusion d'AGV", les variations du temps de transit sont opposées.

A partir de ces données, nous concluons que les produits de fermentation résultant de l'adjonction de son à un régime alimentaire ne sont pas responsables de la diminution associée du temps de transit ; le son agit donc sur le transit par ses propriétés mécaniques, ou tout au moins physiques, et non par ses propriétés fermentescibles.

De plus, les AGV diminuent la vitesse de transit des digesta.

Dès lors, les rapports entre transit et activité myoélectrique ayant été établis chez de nombreuses espèces (FIORAMONTI, 1981), il était intéressant d'étudier les conséquences d'une augmentation de la quantité d'AGV présents dans le segment caeco-colique sur les profils moteurs.

b - Acides gras volatils et profils moteurs

Méthodes :

Nous avons utilisé deux porcs pesant 60 kg environ, équipés d'un cathéter intra-caecal et munis de groupes d'électrodes répartis sur le caecum et le côlon hélicoïdal. Les interventions chirurgicales étaient réalisées après une diète hydrique de 24 heures, et une diète totale de 8 heures.

Préparation des animaux :

Chaque porc, tranquilisé (Calmivet N.D. 1 mg/10 kg I.M.) puis anesthésié (Nesdonal N.D.), subit une laparatomie latérale gauche. Les portions du tube digestif destinées à être implantées sont extériorisées aux marges de la plaie, puis remises en place avec le plus grand soin après la pose des électrodes, qui sont réunies en un seul faisceau tunnellisé sous la peau jusqu'à la fistule de sortie en région dorsale.

Le cathéter intra-caecal (Silastic ND, Ø int. 2 mm) est fixé au caecum par une suture en bourse et extériorisé sur le flanc gauche à 10 cm en avant du grasset.

L'animal est placé en box de réveil pour 24 heures, après lesquelles il réintègre sa cage individuelle ; une antibiothérapie est assurée pendant cinq jours (Extencilline N.D., 1,2 10^6 U/j).

Pendant toute la durée de l'expérience, les porcs reçoivent une alimentation lactée (800 g/j) et de l'eau *ad libitum*. La prise de nourriture a lieu la matin.

Enregistrement :

L'enregistrement continu de l'activité électrique du segment caeco-colique a été obtenu après la pose d'électrodes de réception implantées selon la méthode de RUCKEBUSCH (1973).

Les électrodes sont constituées de fils souples (80 % Ni - 20 % Cr Stabilohm N.D.) de 120 µ de diamètre, isolés par une triple couche d'un ester de polyimide (Trimel N.D.) et implantés dans les couches musculaires superficielles à l'aide d'une aiguille hypodermique utilisée comme trocard. C'est la réaction inflammatoire chronique qui résulte de ce microtraumatisme qui assure la solidarisation de l'ensemble. Les électrodes sont disposées par groupe de trois, et c'est la meilleure combinaison de deux qui est retenue pour l'enregistrement. L'autre extrémité des électrodes, dénudée, est reliée à un enregistreur à plumes multivoie (Reega VIII, ALVAR) permettant l'utilisation d'une méthode de dérivation bipolaire ; la constante de temps choisie est de 0,1 sec.. La vitesse de déroulement du papier est de 2,2 cm/min.

L'activité électrique rapide, issue de 4 canaux d'enregistrement a été intégrée de façon permanente par périodes de 20 secondes (LATOUR, 1973) et dérivée sur un enregistreur potentiométrique à faible vitesse de déroulement du papier ; un tel traitement du signal fournit une vue globale du profil moteur pendant des périodes de plusieurs jours;

Perfusions :

Les solutions utilisées sont les mêmes que dans la précédente expérience à savoir un mélange d'AGV (C_2, C_3, C_4) testé vis à vis d'une solution saline de pH et osmolarité identiques. Les débits des perfusions sont également identiques.

De façon à enregistrer les variations en période post-prandiale d'une part, et en période de repos d'autre part, les perfusions sont effectuées 15 heures ou 21 heures après la prise de nourriture.

Résultats :

Caecum :

L'activité propagée sur le caecum de porc, se traduit par l'occurence de longues salves de potentiels (LSB) regroupées en phase (voir § II.2.B). Les perfusions lentes d'AGV modifient la fréquence de ces phases, tant en période post-prandiale (1,7 ± 0,8/h versus 5,3 ± 0,7/h en témoin) qu'après 15 heures de jeûne (0,9 ± 0,3/h versus 3,2 ± 0,9/h) (Fig. 23).

Côlon hélicoïdal :

L'électromyogramme du côlon proximal présente des LSB dont la fréquence horaire est diminuée de moitié lors des perfusions d'AGV (24,9 ± 7,0 vs 51,4 ± 6,1 en période post- prandiale, et de 21,2 ± 5,5 vs 43,7 ± 6,3 en période inter-prandiale) (Fig. 24).

L'activité SSB, correspondant à l'activité tonique, augmente au contraire pendant la perfusion, avant la prise de nourriture ou à jeûn (14,4 ± 1,05 min/h versus 12,0 ± 1,25 min/h).

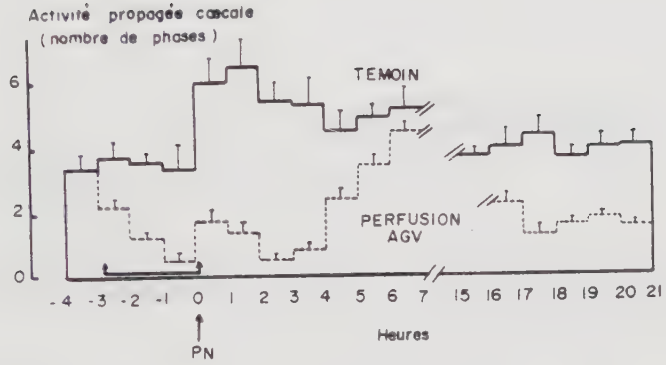


Fig. 23 : ACTIVITE PROPULSIVE CAECALE : La fréquence horaire des phases d'activité propulsives enregistrées sur le caecum diminue nettement dès la première heure de perfusion. Les effets inhibiteurs se prolongent pendant cinq heures après la fin de la perfusion.

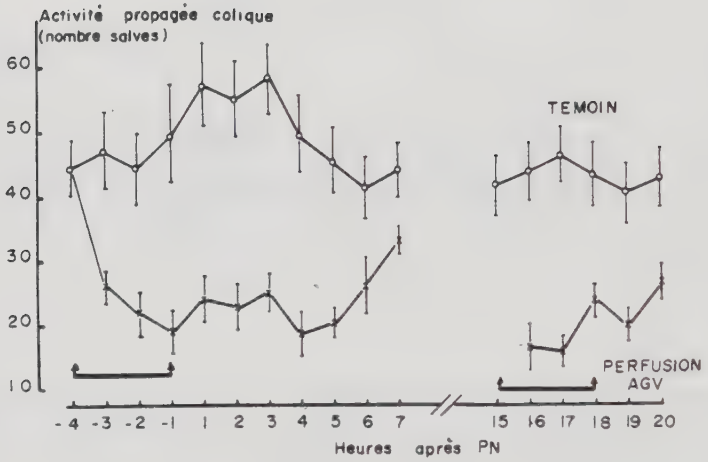


Fig. 24 : ACTIVITE PROPULSIVE COLIQUE : Les AGV diminuent la fréquence horaire des salves propulsives dès la première heure de perfusion. Leurs effets se poursuivent pendant sept heures.

DISCUSSION

Chez les ruminants, SVENDSEN (1973) associe l'élévation du taux des AGV dans le rumen et dans le caecum, avec l'atonie de ces deux réservoirs :l'augmentation des fermentations dans le caecum suscite une

augmentation de la concentration en AGV, entraînant une inhibition sévère de la motricité caecale, et conduisant à la dilatation et au déplacement de l'organe ; de même, la haute teneur en AGV du contenu des pré-estomacs due à la présence d'éléments très fermentescibles dans l'alimentation entraîne un ralentissement de la motricité réticulo-ruminale.

Chez le poney, l'augmentation de l'activité localisée caecale en période post-prandiale s'explique, pour CANDAU et VIGROUX (1974), par l'élévation de la teneur en AGV et en NH_3.

Nos observations vont dans le même sens, puisque nous avons mis en évidence une inhibition de l'activité propagée sur le segment caeco-colique du porc à la suite de perfusions lentes d'AGV.

On peut considérer que le rapport $\frac{LSB}{SSB}$ est un témoin de l'adaptation fonctionnelle du segment caeco-colique à son contenu. Ce rapport est augmenté par l'adjonction de son à un régime lait (FIORAMONTI et BUENO, 1980) ; nous avons montré qu'il était diminué chez le porc par les perfusions d'AGV.

Les AGV peuvent, au même titre que les glucides, lipides et protides sur l'intestin grêle (RUCKEBUSCH et al., 1981), agir sur le segment caeco-colique en modifiant ses caractéristiques motrices ; ils sont à la fois inhibiteurs de la fonction de propulsion, et activateurs du frein acti représenté par l'activité localisée.

Les AGV infusés, et non excrétés, sont absorbés par la muqueus ou utilisés pour les synthèses bactériennes : il est très difficile de connaître d'une part la concentration minimale déterminant une inhibition des LSB, d'autre part le mécanisme par lequel les AGV agissent, et s'ils agissent une fois absorbés, et répartis dans la circulation générale, ou

plus localement dès leur apparition dans la lumière.

Le côlon du porc peut absorber rapidement des quantités importantes d'acides gras volatils dont la présence détermine une augmentation de l'absorption de l'eau et des électrolytes (ARGENZIO et WHIPP, 1979).

Cependant, la concentration en AGV et la pression osmotique des fèces sont en relation directe lors de troubles diarrhéiques (MERRIT et SMITH, 1980) ; mais les conditions pathologiques engendrées par la présence de germes pathogènes ou le développement exagéré de la flore banale expliquent la réponse anormale d'une muqueuse lésée, qui n'assure plus l'équilibre hydroélectrolytique.

En ce qui concerne le transit physiologique normal, il est considérablement ralenti dès l'arrivée des digesta dans le segment caeco-colique proximal chez le porc ; c'est justement là qu'augmente de façon spectaculaire la concentration en AGV (CLEMENS et al., 1975).

Ainsi, nous pouvons affirmer que les AGV et le son agissent strictement en sens inverse, tant sur la vitesse de transit que sur l'activité électrique, ce qui renforce l'hypothèse physique du mode d'action du son sur la motricité digestive.

Les rapports entre les fibres et la flore du gros intestin ne se limitent pas à la modulation du taux des produits de fermentation : Les fibres dans le côlon se comportent comme un tamis biologique, traversé par les enzymes bactériens. La vitesse de dégradation des polysaccharides des fibres implique d'une part leur fermentescibilité, d'autre part, la disponibilité des autres métabolites présents. Ainsi, la matrice formée par la plupart des éléments fibreux peut être assimilée à un véritable "chromatographe biologique" éluant et retenant les différents métabolites de la lumière du tube digestif.

C'est par ce type de mécanisme, beaucoup plus que par l'intermédiaire des métabolites issus de leur dégradation, que les fibres modifient les caractères pharmacologiques du contenu du tube digestif.

CONCLUSIONS

Une meilleure connaissance du devenir des fibres alimentaires dans le tube digestif a été permise par une analyse de plus en plus précise, utilisant des techniques enzymatiques associées aux méthodes classiques de dosage de la cellulose. A l'origine de très nombreuses controverses, se trouve la réunion dans un même ensemble, sous un même vocable, et par une même définition, d'éléments très différents quant à leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques : il est désormais nécessaire, dans la littérature scientifique, de nommer les fibres utilisées (son de blé, gomme de guar...).

La motricité gastro-intestinale est modifiée à court terme par le son, régulateur des transits anormaux ; d'une façon générale, les éléments végétaux présentant une texture fibreuse ont un effet laxatif certain. Des habitudes alimentaires suffisamment végétaliennes exercent, vis à vis des processus pathologiques affectant le gros intestin, une protection certaine, en rapport avec les réactions anatomo-fonctionnelles du segment caeco-colique.

Les tentatives d'explication du mode d'action des fibres sur le transit ne sont pas univoques : au rôle déterminant des acides gras volatils issus de la fermentation bactérienne, proposé par certains auteurs, nous avons pu opposer celui de la texture responsable d'un effet mécanique sur le tube digestif.

Aujourd'hui, "fibre alimentaire" est devenu synonyme de bonne santé. Cependant, de nombreux points importants restent encore à élucider.

En particulier, des éléments considérés comme indigestibles sont en fait dégradés dans le grêle de la plupart des espèces : c'est surtout le cas des pectines, des gommes, et même des hémicelluloses. De plus, le

comportement de chaque type de fibre vis à vis des autres constituants de la ration alimentaire est un élément déterminant de leur disponibilité et de leur efficacité.

Cette dernière considération, plus spécialement appliquée au médicament vétérinaire ou humain, administré par voie orale, ouvre un champ de recherches non négligeable et presque totalement inexploré.

Vu : Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire
rapporteur

Vu : Le Directeur de l'Ecole
Vétérinaire

Professeur R. LAUTIE

Vu : Le Président de la Thèse

Professeur BESSOU

VU ET PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le
Le Président de l'Université
Paul Sabatier

Professeur D. BANCEL

REFERENCES

ARGENZIO R. , Functions of the equine large intestine and their function interrelations in disease. Cornell Vet., (1975), 65, 303-330.

ARGENZIO R.A., Short-chain Fatty Acids and the colon. Dig. Dis Sci., (1981), 2, 97-99.

ARGENZIO R.A., WHIPP S.C., Interrelationship of sodium, chloride, bicarbonate and acetate transport by the colon of the pig. J. Physiol. (London), (1979), 295, 365-381.

ASP N.G., CARLSTEDT I., DAHLQUIST A., JOHANSSON C.G., PAULSSON M., Dietary Fibre. J. Scand. Gastroent., (1979), 52, 128-139.

BAKER D., NORRIS K.H., LI B.W., Food Fiber analysis : advances in methodology. In : Dietary Fiber : chemistery and nutrition. Ed. G. INGLETT and S.I. PALKEHAG. New York Academic Press, (1979), 67-78.

BALCKBURN N.A. et JOHNSON I.T., The effect of guar gum on the viscosity of the gastro-intestinal contents and on glucose uptake from the perfused jejunum in the rat. Br. J. Nutr., (1981), 46, 239-246.

BARAJOU J., MACAR C., PENAULT L., RIVE M., TOUCAS P., Les maladies du Lapin. Document ITAV, Paris, (1977).

BEEVER D.E., COELHO DA SILVA J.F., PRESCOTT J.H.D., ARMSTRONG D.G., The effect in sheep of physical form and stage of growth on the sites of digestion of a dried grass. 1. Sites of digestion of organic matter, energy and carbohydrates. Br. J. Nutr., (1972), 28, 347-356

BERENHOLC C., Etude de la toxicité des carragénannes au niveau du tube digestif. Th. Doct. es Science, (1982). Université de Rouen.

BISSON P.H., Sur l'hypersécrétion et l'ulcère gastro-oesophagien du porc. Rev. Med. Vet., (1967), 118 (3), 197-215.

BROCHART M., FAYET J.C., Milieu et pathologie podale des vaches laitières. In : "Milieu, pathologie et prévention chez les ruminants".I.N.R.A. Publ., (1981), 39-44.

BRODRIBB A.J.M., CONDON R.E., COWLES V. et DE COSSE J., Effect of Dietary Fiber on Intraluminal Pressure and Myoelectrical Activity on Left colon in Monkeys. Gastroenterology, (1979), 77, 70-74.

BRODRIBB J., CONDON R.E., COWLES V. et DE COSSE J.J., Influence of Dietary Fiber on Transit time, Feed composition and Myoelectrical Activity of the primate Right colon. Dig. Dis and Sci., (1980), 25, 260-266.

BROWN R.C., KELLEHER J., WALKER B., LOSOWSKY M., The effect of Wheat bran and pectin on paracetamol absorption in the rat. Br. J. Nutr., (1979), 41, 455-464.

BROWN D., JUHL R., The effect of pectin on digoxin absorption in Man. New Engl. J. Med., (1976), 295, 10-34.

BUENO L., FIORAMONTI J., RUCKEBUSCH Y., Rate of flow of digesta and electrical activity of the small intestine in dogs and sheep. J. Physiol., Lond., (1975), 249, 69-85.

BUENO L., PRADDAUDE F., FIORAMONTI J., RUCKEBUSCH Y., Effect of Dietary Fiber on Gastrointestinal Motility and Jejunal Transit Time in Dogs. Gastroenterology, (1981), 80, 701-707.

BURKITT D.P., Epidemiology of cancer of colon and rectum. Cancer, (1971), 28, 3-13.

BURKITT D.P., A Deficiency of Dietary Fiber may be one cause of certain Colonic and Venous Disorders.

BURKITT D.P., Colonic-rectal cancer : Fiber and other Dietary factors. Am. J. Clin. Nutr., (1978), 31, 558-564.

CANDAU M. et BUENO L., Motricité caecale et transit chez le Poney : influence de l'état de réplétion du caecum et des fermentations microbiennes. Ann. Biol. anim. Bioch. Biophys., (1977), 641, 503-508.

CANDAU M., VIGROUX P., Sur le mécanisme de l'hypermotilité caecale liée au repas chez le cheval. C.R. Soc. Biol., (1974), 168, 893-897.

CANGUILHEM R. et LABIE Ch., Variation de la durée du transit intestinal chez le Porc selon la teneur de la ration en cellulose. Rev. Med. vét., (1976), 12, 1669-1681.

CASSIDY M.M., LIGHTFOOT F.G., GRAU L.S., STORY J.A., KRITCHEVSKY D., VAHOUNY G.V., Effect of chronic intake of dietary fiber on the ultra-structural topography of rat jejunum and colon : a scanning electron microscopy study. Am. J. Clin. Nutr., (1981), 34, 218-228.

CASTLE E.J. et CASTLE M.E., The rate of passage of food through the alimentary tract of pigs. J. Agric. Sci., (1956), 47, 196-204.

CLEMENS E.T., STEVENS C., SOUTHWORTH M., Sites of organic acid production and patterns of digesta movement in the gastrointestinal tract of swine. J. Nutr., (1975), 105, 759-768.

COLVIN M., MAIRE C., VAYSSAIRE J., RENAULT L., Etude expérimentale du remplacement dans les aliments pour le lapin de la cellulose par des tests minéraux. Rec. Med. Vet., (1976), 152, 457-465.

CUMMINGS J.H., What is Fiber ? In : Fiber in Human Nutrition. G.A. Spiller and R.J. Amen Ed., New York : Plenum Press., (1978), 1-30.

CUMMINGS J.H., Dietary Fibre. Br. Med. Bull., (1981), 1, 65-70.

CUMMINGS J.H., HILL M.J., JIVRAJ T., HOUSTON H., BRANCH W.J., JENKINS D.J.A., The effect of meat protein and Dietary fiber on colonic function and metabolism. Am. J. Clin. Nutr., (1979), 32, 2086-2093.

DEVROEDE G., Dietary fiber, bowel habits, and colonic function. Am. J. Clin. Nute., (1978), 31, S157-S160.

EASTWOOD M.A. et MITCHELL W.D., Physical properties of fiber : a biological evolution. In : Fiber in human nutrition. G.A. Spiller a,d R.J. Amen Ed., New York : Plenum Press., (1976).

ELLIS P.R., APLING E.C., LEEDS A.R., BOLSTER N.R., Guar Bread : acceptability and efficacy combined studies on blood glucose, serum insulin and satiety in normal subjects. Br. J. Nutr., (1981), 46, 267-276.

FENNELL C., The use of Sterculia Gum for controlling intestinal tone in the dog and cat. J. Small Anim. Tract., (1976), 17, 543-547.

FIORAMONTI J., Etude comparée des fonctions motrices du gros intestin. Th. D. es Sciences. (1981), Toulouse Université Paul Sabatier.

FIORAMONTI J. et BUENO L., Motor activity in the large intestine of the pigs related to dietary fibre and retention time. Br. J. Nutr., (1980), 43, 155-162.

FIORAMONTI J., GARCIA-VILLAR R., BUENO L., RUCKEBUSCH Y., Colonic myoelectrical activity and propulsion in the dog. Dig. Dis. Sci., (1980), 9, 641-646.

FOY W.L., EVANS J.L., WOHLT J.E., Detergent fiber analyses on thirty foodstuffs investigated by man. Nutr. Rep. Int., (1981), 3, 575-580.

FREUDENBERG K., Lignin : Its constitution and formation from P-hydroxycinnamyl alcohols. Science, (1964), 148, 595-603.

GARGALLO J., ZIMMERMAN D.R., Effects of dietary cellulose and neomycin on function of the caecum of pigs. J. Anim. Sci., (1980), 51, 121-126.

GOMPERTZ D., BROOKS A.P., GAYA H., SPIERS A.S., Volatile fatty acids in the faeces of patients in "germ-free" isolation. GUT, (1973), 14, 183-186.

GORDON A.J., The chemical structures of Lignin and quantitative and qualitative methods of analysis in foodstuffs. In : Topics in dietary fiber research. G.A. Spiller Ed., New York : Plenum Press, (1978), 59-103.

HELLENDOORN E.W., Fermentation as the principal cause of the physiological activity of indigestible food residue. In : Topics in dietary fiber research. G.A. Spiller Ed., New York : Plenum Press, (1978), 127-168.

HELLENDOORN E.W., Dietary fiber or indigestible residue. Am. J. Clin. Nutr., (1981), 34, 1437-1439.

HELLENDOORN E.W., NOORDHOFF M.G., SLAGMEN J., Enzymatic determination of the indigestible residue (dietary fibre) content of human food. J. Sci. Food Agric., (1975), 26, 1461-1468.

HELLER S.N., HACKLER L.R., RIVERS J.M., VAN SOEST P.J., ROE A.D., LEWIS B.A., ROBERTSON J., Dietary fiber : the effect of particle size on wheat bran on colonic function in young adult men. Am. J. Clin. Nutr., (1980), 33, 1734-1744.

HENNEBERG W. und STOHMANN F., Beitr zur Begrunding einer rationellen Futterung der Wiederkrauer I und II. Braunsweig 1860-1864.

HENRI Y., BOURDON R., Les ulcères gastro-oesophagiens. Journées de recherches bovines en France, (1969), 230-233.

HODGSON J.,Effect of methyl cellulose on rectal and colonic pressures in treatment of diverticular disease. Brit. Med. J., (1972), 3, 729-734.

HODGSON J., An Interim report on the production of colonic diverticula in the Rabbit. GUT, (1972), 13, 802-804.

HOLT S., HEADING R.C., CARTER D.C., PRESCOTT L.F., TOTHILL P., Effect of gel fibre on gastric emptying and absorption of glucose and paracetamol. Lancet, (1979), 24, 636-639.

IMOTO S., NAMIOKA S., VFA productions in the pig large intestine. J. Anim. Sci., (1978), 47 (2), 467-478.

JENKINS J.A., NINEHAM R., CRADDOCK C., CRAIG-Mc FEELY P., DONALDSON K., LEIGH T. and SNOOK J., Fibre and diabetes. Lancet, (1979), 24, 434-435.

KASPER H., RABAST U., FASSL H., FEHLE F., The effect of Dietary Fiber on the post-prandial serum vitamin A concentration in man. Am. J. Clin. Nutr., (1979), 32, 1847-1849.

KAY R.M., STRASBERG S.M., PETRUNKA C.N. et WAYMAN M., Differential absorption of bile acids by lignin. In : D.F. Chem. and Nutr., G. INGLETT et FALKE HAG S.I., New York : Academic Press., (1979), 57-65.

KELSAY J.L., BEHALL K.M., PRATHER E.S., Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. Part 1, Am. J. Clin. Nutr., (1978), 31, 1149-1153.

KENELLY J.J., AHERNE F.X., SAUER N.C., Volatile Fatty Acid production in the hindgut of swine. Can. J. Anim. Sci., (1981), 61, 349-361.

KIDDER D.E., MANNERS M.J., Mc CREA M., The passage of food through the alimentary tract of the piglet. Res. Vet. Sci., (1961), 2, 227-231.

KIM D., LEE R., REINER J.M., THOMAS W.A., Lack of beneficial effects of wheat bran cereals on cholesterol balance in swine. Exp. and Molecula Pathol., (1981), 35, 301-313.

KIMURA T., FURUTA H., MATSUMOTO Y., YOSHIDA A., Ameliorating effects of dietary fiber on toxicities of chemicals added to a diet in the rat. J. Nutr., (1980), 3, 513-521.

KIU-LI K., JEWELL D.E., BENEVENGAN J., GRUMMER R.H., The fraction of dietary lactose available for fermentation in the cecum and colon of pigs. J. Anim. Sci., (1978), 46 (6), 1658-1665.

KOMAI M. et KIMURA S., Gastro-intestinal responses to graded levels of cellulose feeding in conventional and Germ Free mice. J. Nutr. Sci. Vitaminol., (1980), 26, 389-399.

LATOUR A., Un dispositif simple d'analyse quantitative de l'électromyogramme intestinal chronique. Ann. Rech. Vet., (1973), 4, 347-353.

LEBAS F., LAPLACE J.P., Le transit digestif chez le lapin VII. Influence de la source de cellulose. Ann. Zoot., (1977), 26 (4), 575-584.

LEEDS A.R., GASSUL M.A., METZ G.L., JENKINS D.J.A., Food : influence of form on absorption. Lancet, (1975), 2, 12-13.

LEEDS A.R., KANG S.S., LOW A.G., SAMBROOK I.E., The pig is a model for studies on the made of action of guar gum in normal and diabetic man. Proc. Nutr. Soc., (1980), 39, 44A.

LUDEMANN H.D., et NIMZ H., Carbon-13 nuclear magnetic resonance spectra of lignins. Biochem. Biophys. Res. Comm., (1973), 52, 1162.

MARLUS R., WATT J., Teratogenic and carcinogenic effects of carrageen in man. Lancet, (1980), 1, p. 602.

MASON V.S., JUST A., Bacterial activity in the hindgut of pigs. I. its influences on the apparent digestibility of dietary energy and fat. Z. Tierphysiol. Tierermahr. Futtermittekd, (1976), 36, 301-310.

Mc CANCE R.A., WIDDOWSON E.M., SHACKLETON L.R.B., The nutritive value of fruits, vegetables and nuts. Med. Res. coinc. Spec. Rep. Ser., (1936), 213 (HMSO), 32-39.

MERRITT A., SMITH D., Osmolarity and volatile fatty acid content of feces from horses with chronic diarrhea. Am. J. Vet. Res., (19), 41, 928-931.

MEYER K.H., MISCH L., Position des atomes dans le nouveau modèle spatial de la cellulose. Helv. Clim. Acta, (1937), 20, 232-237.

MITCHELL W.D. et EASTWOOD M.A., Dietary fiber and colon function. In : Fiber in Human nutrition. G.A. Spiller et R.J. Amen Ed., New York : Plenum Press., (1978).

MUNOZ J.M., SANDSTEAD H.H., JACOB R.A., LOGAN G.M., RECK S.J., KLEVAY L.M., SHUEY W.C., Effect of some cereal brans and textured vegetable protein on plasma lipids. Am. J. Clin. Nutr., (1979), 32, 580-592.

NORRIS K.H., BARNES R.F., MOORE J.E., SHENK J.S., Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. J. Anim. Sci., (1976), 43, 889.

PARTRIDGE I.G., Studies on digestion and absorption in the intestines of growing pigs. 4. Effects of dietary cellulose and sodium levels on mineral absorption. Br. J. N., (1978), 39, 539-545.

PONCIN M.P., Contribution à l'étude d'un régime enrichi en son dans l'alimentation du chien. Th. Med. Vet. Toulouse, (1981), 114.

RENAULT L., MAIRE C., VAISSAIRE J., CABADY J.P., ALBOUY R., Contribution à l'étude des troubles digestifs des laperaux en début d'engraissement Congrès International cunicole, Dijon, (1976), Com. 46.

RINAUDO M., Structure et caractérisation des principaux constituants des fibres alimentaires. Ann. Nutr. Alim., (1980), 34, 57-76.

ROSSILET A., La cellulose dans l'alimentation du Lapin. Utilisation digestive et aspects nutritionnels. Th. Doct. Ing. Pierre et Marie Curie Paris VI, (1977).

RUCKEBUSCH Y., L'électromyographie globale des muscles lisses à partir d'électrodes chroniques intra-pariétales souples. Rev. Med. Vet., (1973), 124, 1407-1434.

RUCKEBUSCH Y., BUENO L., FIORAMONTI J., Constituants alimentaires et motricité digestive. Reprod. Nutr. Develop., (1981), 21 (5B), 749-771.

SAMBROOK I.E., Studies on digestion and absorption in the intestines of growing pigs. 8. Measurements of the flow of total lipids, acid detergent fiber and volatile fatty acids. Br. J. Nutr., (1979), 42, 279-287.

SANDBERG A.S., ANDERSSON H., HALLGREN B., HASSELBLAD K., ISAKSSON B., HULTEN L., Experimental model for in vivo determination of dietary fibre and its effects on the absorption of nutrients in the small intestine.Br. J. Nutr., (1981), 45, 283-294.

SOUTHGATE D.A.T., The chemistry of dietary fiber. In : Fiber in human nutrition. G.A. Spiller and R.J. Amen Ed., New York : Plenum Press, (1978), 31-72.

SOUTHGATE D.A.T., The analysis of dietary fiber. In : Fiber in human nutrition. G.A. Spiller a,d R.J. Amen Ed., New York : Plenum Press, (1978), 73-107.

SPILLER G.A., CHERNOFF M., GATES J., Effect of increasing levels of four dietary fibers on fecal minerals in pig-tailed monkeys (Macaca nemestrina). Nut. Rep. Int., (1980), 3, 353-360.

SPILLER G.A., CHERNOFF M.C., HILL R.A., GATES J.E., NASSAR J.J., SHIPLEY E.A., Effect of purified cellulose, pectin, and a low residue diet on fed volatile fatty acids, transit time, and fecal weight in humans. Am. J. Clin. Nutr., (1980), 33, 754-759.

SPILLER G.A., FREEMAN H.J., Recent advances in dietary fiber and colorectal diseases. Am. J. Clin. Nutr., (1981), 34, 1145-1152.

SPILLER G.A., SHIPLEY E.A., BLAKE J.A., C.R.C. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. (1978), Volume 10, 1, 31-90.

SPILLER G.A., SHIPLEY E.A., CHERNOFF M.C., COOPER W.C., Bulk laxative efficacy of a psyllium seed hydrocolloid and of a mixture of cellulose and pectin. J. Clin. Pharmacol., (1979), 5-6, 313-320.

STEPHENS A.M., CUMMINGS J.H., Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man. GUT, (1979), 20, 722-729.

STORY J.A. and KRITCHEVSKY D., "Dietary Fiber and Lipid Metabolism". In : "Fiber in Human Nutrition". G.A. Spiller and R.J. Amen Ed., New York : Plenum Press, (1978), 171-184.

STREICHER M.H. et QUIRK L., Constipation : Clinical and roentgenologic evaluation of the use of bran. Am. J. Dig. Dis., (1943), 10, 179.

SVENDSEN P., Inhibition of intestinal motility by volatile fatty acids. Nord. Vet. Med., (1972), 24, 123-131.

SVENDSEN P., Inhibition of cecal motility in sheep by volatile fatty acids. Nord. Vet. Med., (1972), 24, 393-396.

SVENDSEN P., Gastro-intestinal atony in ruminants. Th. Doct. Vet., Copenhagen, (1974).

TAYLOR I., DUTHIE H.L., Bran tablets and diverticular disease. Brit. Med. J., (1976), 1, 988.

THEANDER O., AMAN P., Dietary Fiber Component Analysis. In : Dietary Fiber Chemistry and Nutrition. G. Inglett et S.I. Falkehag Ed., New York, Academic Press, (1979), 215-244.

THEANDER O., JAMES P., European efforts in Dietary Fiber characterisation. In : D.F. Chemistry and Nutrition. G. Inglett et S.I. Falkehag Ed. New York : Academic Press, (1979), 245-249.

TOURNUT J., LABIE C., et LABOUCHE J., Les ulcères gastro-oesophagiens. Journée de la recherche porcine en France, (1969), 230-233.

TROWELL H.C., Crude fibre, dietary fibre and atherosclerosis. Atherosclerosis, (1972), 16, 138-139.

TROWELL H., Dietary Fibre, ishoemic heart disease and diabetes mellitus. Proc. Nutr. Soc., (1973), 32, 151.

TROWELL H.C., The development of the concept of dietary fiber in human nutrition. Am. J. Clin. Nutr., (1978), 31, S3-S4.

TROWELL H.C., SOUTHGATE D.A.T., WOLEVER T.M.S., LEEDS A.R., GASSULL M.A. and JENKINS D.J.A., Dietary fibre redefined. Lancet, (1976), 1, 967.

VAN SOEST P.J., Development of a comprehensive system of feeds analysis and its application to forage. J. Anim. Sci., (1967), 26, 1-119.

VOGRÖS G., Investigations relating to diseases of the digestives system at wearning rabbits.Congrès Int. Cunicole. (1976), Dijon, Com. 42.

WILLIAMS R.D., OLMSTED W.H., The effect of cellulose, hemicellulose and lignine on the weight of stool. J. Nutr., (1936), 11, 433-440.

WILLIAMS R.D., NICKS L., BIERMAN H.R., OLMSTED W.H., Carbohydrates values of fruits and vegetables. J. Nutr., (1940), 19, 593.

WOLTER R., Particularités de la digestion de la cellulose chez les herbivores. Bull. Soc. Sci. Vet. Med. Comparée, Lyon, (1978), 80, 1.

Imp. Corep - 21, rue Viguerie - 31300 Toulouse - Tél. : 42.01.19